CH 7 LES SOURCES DE CHAMP MAGNÉTIQUE

CONSTANTES UTILES

$e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}$

$1\ \mathrm{eV} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ J

$m_e = 9{,}109 \times 10^{-31}$ kg

$m_p = 1{,}673 \times 10^{-27}$ kg

ÉQUATIONS LIÉES AU CHAPITRE :

$$\boxed{n = \frac{N}{L}}$$

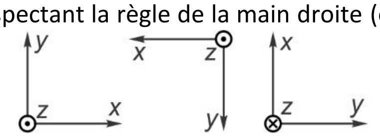
$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}} \qquad \boxed{B = \frac{\mu_0 N I \sin^3 \alpha}{2a}}$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 N I}{2a}} \qquad \boxed{B = \mu_0 n I}$$

7.0 INTRODUCTION

7.1 Question : Les trois axes solution ▶

Si la figure suivante illustre 3 manières différentes d'illustrer un système d'axes respectant la règle de la main droite (en suivant les directions horizontale, verticale et perpendiculaire), combien existe-t-il au total de manières différentes de l'illustrer?



7.1 LE CHAMP GÉNÉRÉ PAR UN COURANT DANS UN LONG FIL

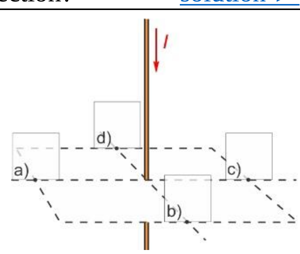
7.2 Question : Le courant du Nord solution ▶

Un fil est placé horizontalement selon un axe Nord-Sud et porte un courant vers le Nord. Déterminez l'orientation du champ magnétique :

a) à l'Est du fil;
b) au-dessus du fil;
c) sous le fil.

7.3 Question : Dans quelle direction? solution ▶

Un long fil est placé verticalement et porte un courant tel qu'indiqué sur la figure ci-contre. Déterminez pour chaque étiquette l'orientation du champ magnétique à partir des choix suivants :



⊙ ⊗ ← ↑ → ↓

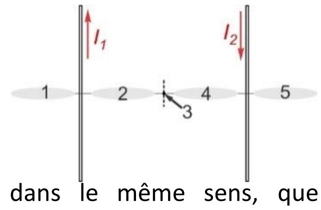
7.4 Exercice : Le fil vertical solution ▶

Un long fil placé le long de l'axe z a une résistance de 7,25 Ω et est soumis à une différence de potentiel de 16,0 V. Déterminez le module du champ magnétique :

a) à 1 cm de ce fil;
b) à la position $(2\vec{\imath} + \vec{\jmath})$ cm;
c) à la position $(2\vec{\imath} + \vec{\jmath} + 3\vec{k})$ cm;

7.5 Question : La zone solution ▶

Deux fils parallèles portent des courants en sens contraires tels que $I_1 < I_2$.



a) À quel endroit ou dans quelle zone le module du champ magnétique peut-il être nul?
b) Si les courants allaient dans le même sens, que deviendrait la réponse?

7.6 Exercice : Le courant inconnu solution ▶

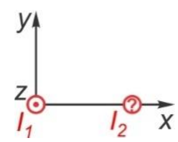
À 25 cm d'un long fil électrique pourtant un courant I, on observe un champ magnétique dont le module est de 50,0 mT. Déterminez à quelle distance du fil le module du champ sera-t-il de 20,0 mT.

7.7 Exercice : Le champ centre solution ▶

Quel est le module du champ magnétique à mi-chemin entre deux fils de 10 m, distants de 10 cm, formant ensemble un plan parallèle au plan yz et portant 1 A vers y^+ et 2 A vers y^-?

7.8 Exercice : Le champ nul solution ▶

Un fil porte un courant I_1 = 2 A vers z^+ et passe par l'origine. Un second fil parallèle au premier porte un courant I_2 et passe par le point $4\vec{\imath}$ m. Déterminez le courant (module et direction) faisant en sorte que le champ magnétique sera nul aux points suivants :



a) $1\vec{\imath}$ m;
b) $-10\vec{\imath}$ m;
c) $(2\vec{\imath} + 2\vec{\jmath})$ m.

7.9 Exercice : Le champ de deux fils Physique info solution ▶

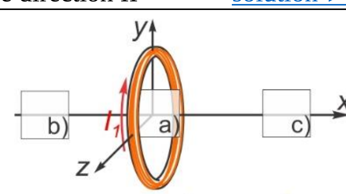
Un fil passant par l'origine porte un courant 3 A vers x^+. Un second fil portant 4 A est placé à différents endroits à tour de rôle pour étudier le champ magnétique au point $2\vec{\jmath}$ cm. Déterminez ce vecteur champ magnétique pour les différentes dispositions suivantes du second fil :

a) le fil passe par le point $-2\vec{\jmath}$ cm et son courant est dirigé vers x^-;
b) le fil passe par le point $2\vec{k}$ cm et son courant est dirigé vers x^+;
c) le fil passe par le point $2\vec{k}$ cm et son courant est dirigé vers y^+.

7.2 LE CHAMP GÉNÉRÉ PAR UNE BOUCLE DE COURANT

7.10 Question : Dans quelle direction II solution ▶

Une boucle conductrice est placée parallèlement au plan yz, est centrée sur l'axe x et porte un courant dans le sens indiqué. Déterminez l'orientation du champ magnétique pour chacun des trois emplacements situés le long de l'axe x.



⊙ ⊗ ← ↑ → ↓

7.1- 24 — **7.2**- a) Vers le sol — b) Vers l'Est — c) Vers l'Ouest — **7.3**- a) ⊗ — b) ← — c) ⊙ — d) → — **7.4**- a) 44,1 μT — b) 19,7 μT — c) 19,7 μT

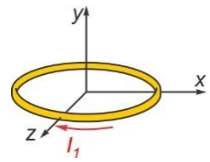
7.5- a) #1 — b) #2 — **7.6**- 62,5 cm — **7.7**- 12,0 μT — **7.8**- a) 6,00 A vers z^+ — b) 2,80 A vers z^- — c) ∅

7.9- a) $10{,}0\vec{k}$ μT — b) $(20{,}0\vec{\jmath}+50{,}0\vec{k})$ μT — c) $(-40{,}0\vec{\imath}+30{,}0\vec{k})$ μT — **7.10**- a) ← — b) ← — c) ←

7.11 Exercice : L'anneau solution ►

Une boucle conductrice simple (d'un rayon de 15 cm) est parallèle au plan *xz* et porte un courant de 2 A dans le sens illustré ci-contre. Déterminez le module du champ magnétique :

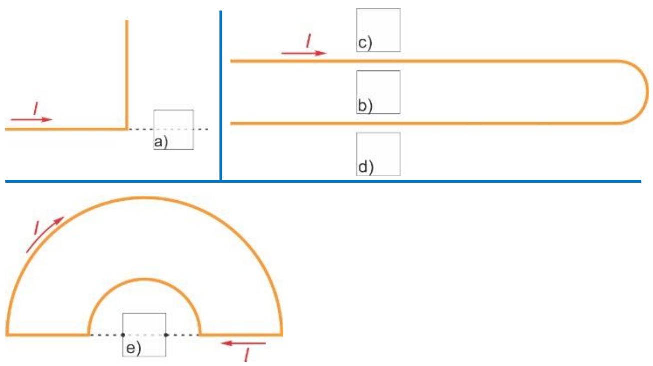
a) à l'origine;
b) à $5\vec{j}$ cm;
c) à $15\vec{j}$ cm;
d) à $-15\vec{j}$ cm.



7.12 Question : Le courant sinueux solution ►

Déterminez l'orientation du champ magnétique pour chacune des étiquettes dans les montages suivants, à partir des six orientations offertes :

⊙ ⊗ ← ↑ → ↓



7.13 Exercice : Le nombre de tours solution ►

Combien d'enroulements doit compter une boucle circulaire alimentée par un courant de 125 mA pour produire en son centre un champ magnétique de 125 µT si son rayon est de 12 cm?

7.14 Exercice : Le champ au-dessus solution ►

3 cm au-dessus d'une boucle de courant constitué de plusieurs tours de fil, sur son axe, le champ magnétique a un module de 560 mT. Le rayon de la boucle est de 4 cm et son courant est inconnu. Que vaudra le champ magnétique à 7,5 cm au-dessus de cette boucle, sur son axe?

7.15 Exercice : La résistance de la boucle solution ►

Une boucle de fil constituée de 10 tours de fil a un rayon de 8,5 cm et génère en son centre un champ magnétique de 150 µT. Si le fil constituant la boucle est branché à une source de 3,6 V, déterminez sa résistance.

7.16 Exercice : Roule-déroule solution ►

On utilise 5 m de fil de cuivre pour produire une boucle de 12 cm de rayon, et on fait circuler dans le fil un courant *I*. Le champ magnétique au centre de la boucle a une valeur de 800 µT. Si on déroule le fil pour produire une nouvelle boucle de 20 cm de rayon, quel sera le module du champ au centre?

7.3 LE CHAMP MAGNÉTIQUE GÉNÉRÉ PAR UN SOLÉNOÏDE À *N* SPIRES

7.17 Question : Dans quelle direction III solution ►

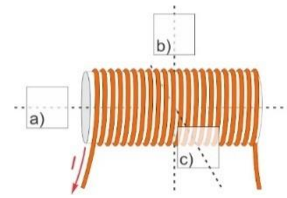
Un aimant permanent est placé comme illustré ci-contre. Indiquez pour chaque étiquette l'orientation du champ magnétique parmi les choix d'orientations.

⊙ ⊗ ← ↑ → ↓

7.18 Question : Dans quelle direction IV solution ►

Un solénoïde est placé comme illustré ci-contre. Indiquez pour chaque étiquette l'orientation du champ magnétique.

⊙ ⊗ ← ↑ → ↓



7.19 Exercice : Le solénoïde simple solution ►

Un solénoïde long de 8 cm a un diamètre de 1 cm, est constitué de 200 tours de fil et porte un courant de 400 mA.

a) Que vaut *n* pour ce solénoïde?
b) Quel est le module du champ magnétique en son centre?

7.20 Question : Le champ variable solution ►

On utilise un très long fil pour produire un solénoïde où on fera circuler un courant *I*. Selon différents rayons d'enroulement, on obtiendra des solénoïdes de différentes longueurs (supposons qu'on appuie chaque tour contre le précédent, latéralement, sans superposer les tours). En supposant que le fil est assez long pour que dans tous les cas le solénoïde soit beaucoup plus long que son diamètre, déterminez de quelle manière variera le module du champ magnétique généré à l'intérieur si on produit les variations suivantes :

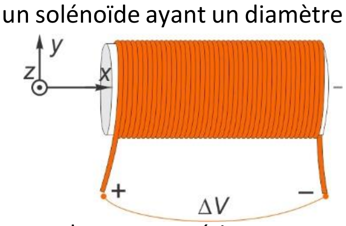
a) on augmente le courant qui parcourt le fil enroulé;
b) on produit un enroulement de rayon plus petit;
c) le fil étant assez long, on ajoute des tours au solénoïde selon le même rayon d'enroulement;
d) on étire le solénoïde comme un ressort.

7.21 Exercice : Le nombre de tours II solution ►

En plaçant une sonde magnétique à l'intérieur d'un long solénoïde portant 425 mA, on trouve un champ magnétique *B* = 0,273 mT. Ce solénoïde mesure 6,8 cm de longueur et 1,2 cm de diamètre. Déterminez combien de tours de fil il comporte.

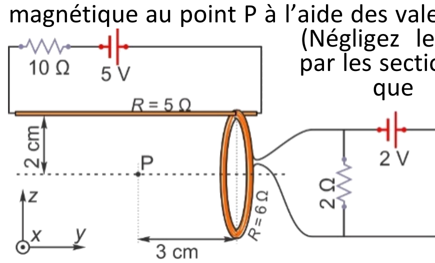
7.22 Exercice : Le vecteur champ solution ►

Le montage suivant montre un solénoïde ayant un diamètre de 2 cm et comportant 43 tours de fil. Le fil est un fil de cuivre de 0,40 mm de diamètre et les tours de fil sont appuyés les uns contre les autres. Si on applique une différence de potentiel de 6 V aux bornes de ce solénoïde, déterminez le vecteur champ magnétique en son centre. (ρ_{Cu} = 1,68×10^{-8} Ω·m)



7.23 Exercice : Le synthèse solution ►

Une expérience consiste à générer un champ magnétique au point P à partir d'un long fil alimenté par une source e 5 V et d'une boucle de courant de 25 tours alimentée par une source de 2 V. Déterminez le vecteur champ magnétique au point P à l'aide des valeurs sur le montage. (Négligez les champs produits par les sections de circuit autres que le fil droit et la boucle.)



7.11 - a) 8,38 µT — b) 7,15 µT — c) 2,96 µT — d) 2,96 µT — **7.12** - a) ⊗ — b) ⊗ — c) ⊙ — d) ⊙ — e) ⊙ — **7.13** - 191 — **7.14** - 114 mT — **7.15** - 1,77 Ω

7.16 - 288 µT — **7.17** - a) ← — b) ← — c) → — **7.18** - a) → — b) ← — c) ← — **7.19** - a) 2500 m^{-1} — b) 1,26 mT — **7.20** - a) ↗ — b) = — c) = — d) ↘

7.21 - 34,8 — **7.22** - $-52{,}2\vec{\imath}$ mT — **7.23** - $(3{,}33\vec{\imath}+44{,}7\vec{\jmath})$ µT

CH 7 LE CHAMP MAGNÉTIQUE

7.0 INTRODUCTION

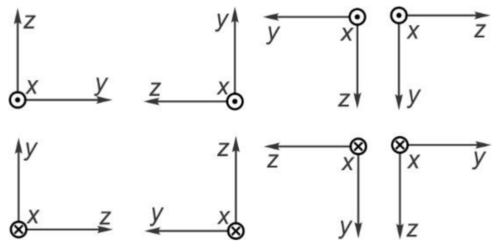
7.1 Solution : Les trois axes retour à la question ▲

retour à la question ▲

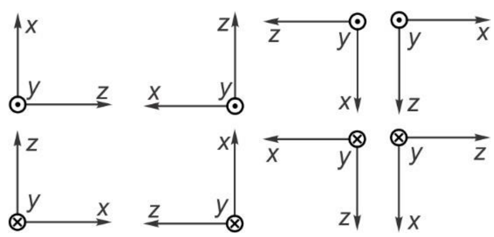
a) 24 manières différentes

Si on veut dénombrer de façon ordonnée toutes les représentations possibles, on peut placer tour à tour chacun des 3 axes dans l'orientation perpendiculaire au schéma et faire pivoter le système d'axes autour de cet axe.

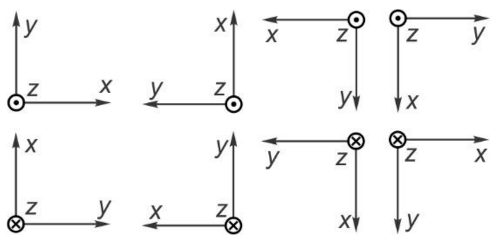
En commençant par l'axe *x* placé perpendiculairement au schéma, on trouve 8 orientations (4 avec un axe *x* sortant et 4 avec un axe *x* entrant) :



Si on fait la même chose pour l'axe *y*, on trouve à nouveau 8 représentations possibles :



Et finalement, 8 autres représentations différentes avec l'axe *z* perpendiculaire au schéma :



Il y a donc au total 24 manières différentes d'illustrer un système d'axes.

retour à la question ▲

7.1 LE CHAMP MAGNÉTIQUE GÉNÉRÉ PAR UN COURANT DANS UN LONG FIL

7.2 Solution : Le courant du Nord

retour à la question ▲

retour à la question ▲

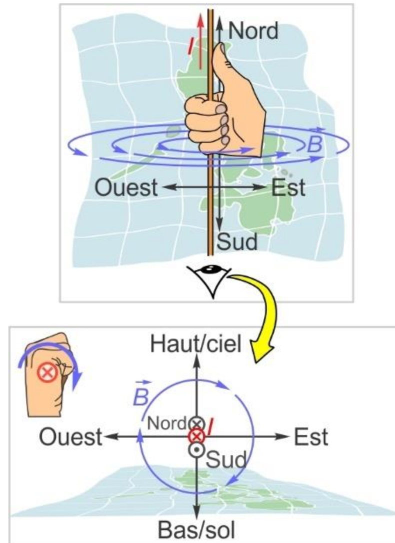
La première chose à faire est une bonne illustration du fil portant un courant, adéquatement placé par rapport aux points cardinaux.

Selon une vue du dessus, on aperçoit les quatre points cardinaux ainsi que le fil portant un courant dirigé vers le Nord. Voir la première partie de la figure ci-contre.

Cependant, pour bien apercevoir le champ magnétique tournant autour du fil (les lignes de champ circulaires), on doit produire une illustration où le fil est perpendiculaire au plan de l'illustration. Utilisons une vue dirigée vers le Nord : l'Est est à droite, et on aperçoit le haut et le bas (le ciel et le sol).

Ainsi, selon la règle de la main droite, le champ magnétique s'illustre par une rotation horaire autour du fil (en mauve) sur la figure ci-contre : en dirigeant le pouce dans la direction du courant (entrant dans l'illustration ⊗), la main fermée s'enroule dans le sens horaire autour du fil.

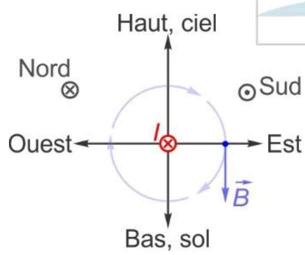
On pourra alors voir sur cette même représentation les trois emplacements des questions a), b) et c).



retour à la question ▲

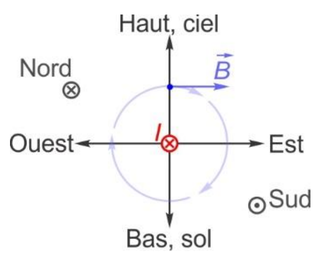
a) Vers le sol

Pour un point situé à l'Est du fil (voir figure ci-contre), la circulation du champ magnétique (en sens horaire sur la vue illustrée) fait en sorte que le champ est dirigé vers le bas à cet endroit.



b) Vers l'Est

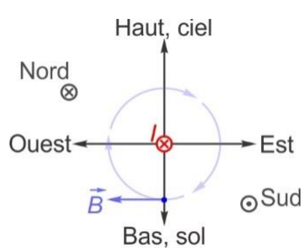
Pour un point situé au-dessus du fil (voir figure ci-contre), la circulation du champ magnétique (en sens horaire sur la vue illustrée) fait en sorte que le champ est dirigé vers la droite, donc vers l'Est, à cet endroit.



c) Vers l'Ouest

Pour un point situé en-dessous du fil (voir figure ci-contre), la circulation du champ magnétique (en sens horaire sur la vue illustrée) fait en sorte que le champ est dirigé vers la gauche, donc vers l'Ouest, à cet endroit.

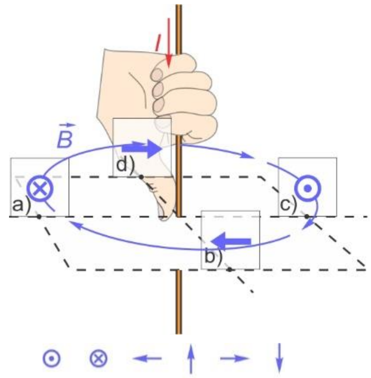
retour à la question ▲



7.3 Solution : Dans quelle direction? retour à la question ▲

retour à la question ▲

La figure ci-contre illustre l'utilisation de la règle de la main droite pour un courant vers le bas dans le fil vertical. L'enroulement de la main indique une circulation en sens horaire (vu de haut) dans le plan où se trouve les étiquettes.



a) ⊗, un champ entrant

En passant à gauche du fil, le champ entre dans le plan de l'illustration, c'est donc un champ entrant identifié par le symbole ⊗.

b) ←, un champ vers la gauche

Devant le fil, la circulation du champ se fait vers la gauche pour contourner le fil en sens horaire (vu de haut). Donc un champ vers la gauche, ←.

c) ⊙, un champ sortant

En passant à droite du fil, le champ sort du plan de l'illustration, c'est donc un champ sortant identifié par le symbole ⊙.

d) →, un champ vers la droite

Derrière le fil, la circulation du champ se fait vers la droite pour contourner le fil en sens horaire (vu de haut). Donc un champ vers la droite, →.

retour à la question ▲

7.4 Solution : Le fil vertical

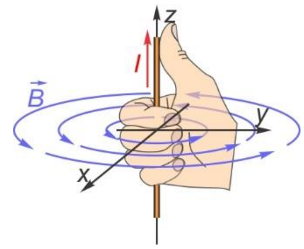
retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) B = 44,1 µT

Partout autour du fil à une distance de 1 cm, le module du champ magnétique sera donné par l'équation :

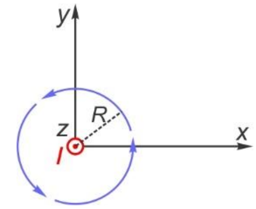
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



Tous les points se trouvant à 1 cm du fil présenteront cette même valeur du champ magnétique (une infinité de points, partout autour et à toute hauteur au-dessus ou en-dessous du plan *xy*).

La distance R est la distance de 1 cm donnée. Par contre, on ignore le courant. On doit le calculer à l'aide de la loi d'Ohm, puisqu'on nous donne la résistance du fil et la différence de potentiel qu'on y applique :

$$\Delta V = RI \quad \Rightarrow \quad I = \frac{\Delta V}{R}$$



ATTENTION! : on ne doit pas confondre le rayon R (de 1 cm) pour le calcul du champ et la résistance R électrique du fil. Écrivons R_{fil} pour le rayon de 1 cm. Le module du champ est donc :

$$B = \frac{\mu_0 \times \frac{\Delta V}{R}}{2\pi R_{fil}}$$

$$B = \frac{\mu_0 \Delta V}{2\pi R_{fil} R} \qquad (1)$$

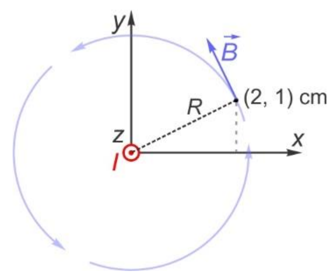
$$B = \frac{(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}})\times16{,}0\ \mathrm{V}}{2\pi\times0{,}01\ \mathrm{m}\times7{,}25\ \Omega} = \mathbf{44{,}1\ \mu T}$$

retour à la question ▲

b) B = 19,7 µT

Les coordonnées de l'endroit indiqué doivent être utilisé principalement pour déterminer la distance entre le point et le fil. Un point en $(2\vec{\imath} + \vec{\jmath})$ cm se trouve à une distance de l'origine déterminée par :

$$R_{\mathrm{fil}} = \sqrt{(2\ \mathrm{cm})^2 + (1\ \mathrm{cm})^2} = \sqrt{5}\ \mathrm{cm}$$



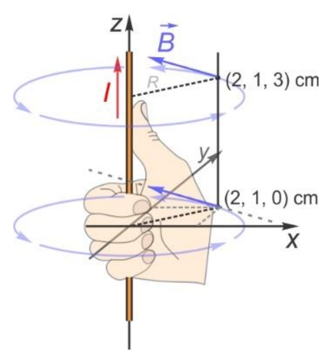
L'équation (1) développée en a) appliquée avec la distance trouvée ici entraîne pour le module du champ la valeur suivante :

$$B = \frac{\mu_0 \Delta V}{2\pi R_{fil} R} = \frac{(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}})\times16{,}0\ \mathrm{V}}{2\pi\times(\sqrt{5}\times10^{-2}\ \mathrm{m})\times7{,}25\ \Omega} = \mathbf{19{,}7\ \mu T}$$

retour à la question ▲

c) B = 19,7 µT

Puisque le fil est parallèle à l'axe *z*, la coordonnée *z* d'un point n'a aucun impact sur le champ observé en un point, car tous les points dont les coordonnées en *x* et en *y* sont 2 cm et 1 cm se trouvent à la même distance du fil, celle calculée en b) ($\sqrt{5}$ cm).



L'illustration montrée en b) (ci-haut) pourrait être utilisé à nouveau car elle est la même pour toutes les hauteurs *z*. L'image ci-contre illustre avec perspective la droite verticale parallèle à l'axe *z* dont tous les points se trouvent à la même distance du fil et où le vecteur champ magnétique est le même (donc même module).

Le module du champ magnétique est donc le même qu'en b), **19,7 µT**.

retour à la question ▲

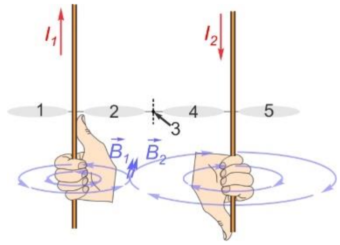
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

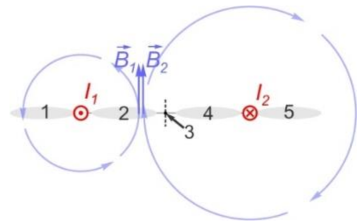
7.5 Solution : La zone

retour à la question ▲

a) Dans la zone 1

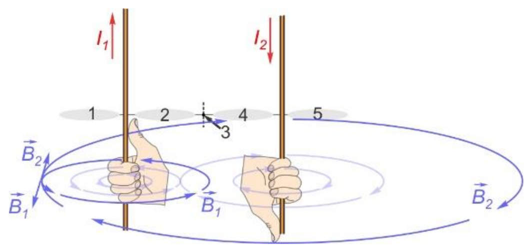
Représentons d'abord les champs magnétiques produits par les deux fils. Sur une vue en perspective (figure ci-contre, à gauche), en appliquant la règle de la main droite, on peut voir le sens de circulation du champ magnétique autour de chaque fil. On constate alors qu'entre les deux fils, les deux champs magnétiques ont la même orientation. On aperçoit la même chose sur une vue du dessus (figure de droite).

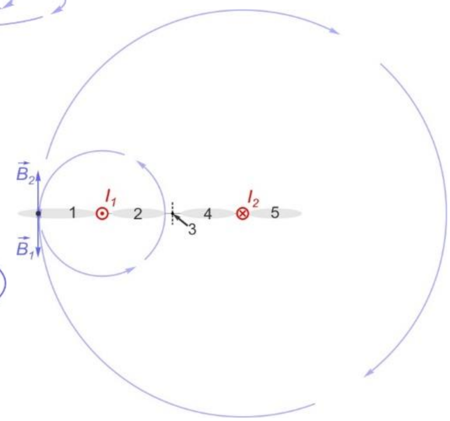




Ce n'est donc pas entre les deux fils que le champ résultant peut être nul, ce sera à l'extérieur de l'espace entre les fils, soit à gauche, soit à droite…

Pour déterminer de quel côté ce sera, on doit appliquer la même logique que dans d'autres problèmes où on cherche un point où l'effet de deux sources est nul : on doit être plus éloignée de la source la plus forte (les deux figures ci-contre montrent deux vues différentes du bon endroit).

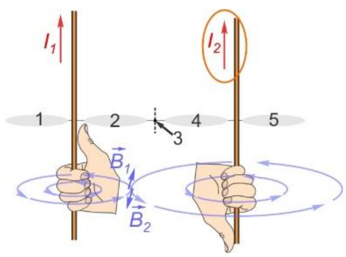


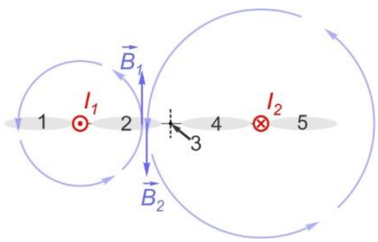


Puisque le courant I_2 est plus élevé, on doit être plus éloigné du fil 2. C'est donc à gauche des fils, dans la zone 1 que les champs pourront être de mêmes modules et de sens inverses.

b) Dans la zone 2

Si les courants sont dans le même sens (disons vers le haut), on doit à nouveau illustrer le sens de circulation du champ autour des fils. Les figures ci-contre montrent les deux vues de ces champs. On constate que c'est alors entre les fils que les champs iront en sens contraires sur la droite joignant les deux fils. Et encore une fois, on doit identifier un point plus éloigné du fil au courant le plus élevé, c'est-à-dire plus près du fil 1 dans la zone 2.





retour à la question ▲

7.6 Solution : Le courant inconnu

retour à la question ▲

R = 62,5 cm

L'équation du module du champ magnétique produit par un long fil est :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

L'énoncé mentionne deux scénarios avec des champs de 50,0 mT et 20,0 mT. Si on désigne ces deux champs par B_1 et B_2, écrivons l'équation du champ pour chacun des deux scénarios, le courant étant le même dans les deux cas :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R_1} \qquad \text{et} \qquad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R_2}$$

Si on isole la portion commune des deux équations, on peut faire disparaître l'inconnue I en plus de simplifier le traitement :

$$B_1 R_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \qquad \text{et} \qquad B_2 R_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi},$$

d'où :

$$B_1 R_1 = B_2 R_2$$

Finalement, si on isole le rayon R_2 inconnu :

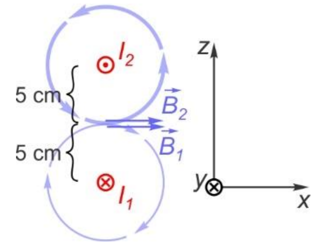
$$R_2 = \frac{B_1}{B_2} R_1 \quad = \quad \frac{50{,}0 \text{ mT}}{20{,}0 \text{ mT}} \times 25 \text{ cm} \quad = \quad \mathbf{62{,}5 \text{ cm}}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

7.7 Solution : Le champ centre retour à la question ▲

B = 12,0 µT



Par le sens des courants, on doit comprendre que les deux fils sont parallèles à l'axe *y*. Aussi, pour bien illustrer les courants et les champs autour des deux fils, faisons une illustration où l'axe *y* est perpendiculaire au plan du schéma (ici une illustration où l'axe *y* entre dans la page).

Si les fils forment ensemble un plan parallèle au plan *yz*, ils doivent être disposés à 10 cm l'un de l'autre le long de l'axe *z* (voir schéma).

Les courants sont en sens contraires, mais le fait de placer en haut sur notre schéma celui dont le courant est de 2 A est arbitraire. Comme on ne cherche que le module, peu importe leurs positions relatives, le module du champ entre eux aura toujours la même valeur (pour des courants en sens contraires).

Le point à mi-chemin entre les fils est à 5 cm de chacun des fils. Par ailleurs, la longueur des fils n'intervient pas dans les calculs mais sert simplement à confirmer que les fils sont très longs par rapport à la distance où on calcule le champ.

Sur la figure ci-haut, le sens de circulation du champ magnétique autour des fils, selon la règle de la main droite, fait en sorte qu'au point étudié, les deux champs magnétiques sont dirigés vers la droite. Leurs contributions s'additionnent donc, chacune étant donnée par l'équation du champ généré par un long fil :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Le champ résultant sera donné par la somme des deux champs (positifs et additionnés si dans le même sens) :

$$B_{rés} = B_1 + B_2 \quad = \quad \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R_1} + \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R_2}$$

La distance R au point étudié étant la même pour les deux fils, on peut simplifier :

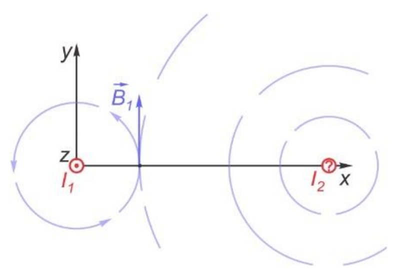
$$B_{rés} = \frac{\mu_0}{2\pi R} \times (I_1 + I_2)$$

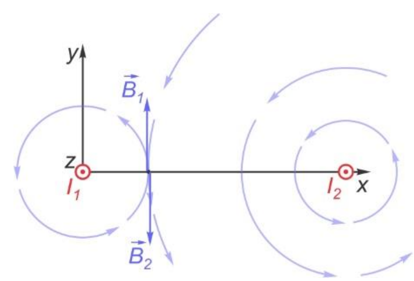
$$B_{rés} = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7}\,\frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}\right)}{2\pi \times 0{,}05\ \mathrm{m}} \times (1\ \mathrm{A} + 2\ \mathrm{A}) \quad = \quad 1{,}20 \times 10^{-5}\ \mathrm{T} \quad = \quad \mathbf{12{,}0\ \mu T}$$

retour à la question ▲

7.8 Solution : Le champ nul retour à la question ▲

a) I = 6,00 A vers z^+





Le point $1\vec{\imath}$ m se trouve entre les deux fils (voir figure ci-contre).

Par la règle de la main droite, on trouve le sens de circulation du champ magnétique autour du fil dont le courant est connu, le sens antihoraire vu de haut, ce qui entraîne un champ $\vec{B}_1$ dirigé vers y^+.

Si on veut obtenir un champ résultant nul au point étudié, on doit y ajouter un champ de même module dirigé vers le bas, ce qui suggère pour le fil à droite une circulation du champ magnétique en sens antihoraire également (la figure ci-contre montre ce résultat.

Si les deux champs magnétiques sont de mêmes modules et que leur somme vectorielle est nulle :

$$\vec{B}_1 + \vec{B}_2 \ = 0$$

$$B_1 - B_2 \ = 0$$

$$B_1 = B_2$$

retour à la question ▲

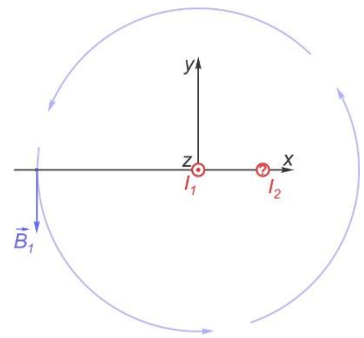
Selon l'équation du champ magnétique généré par un fil infini :

$$\frac{\mu_0 I_1}{2\pi R_1} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R_2}$$

$$I_2 = \frac{R_2}{R_1} I_1 \qquad (1)$$

Dans la situation actuelle, R_1 = 1 m et R_2 = 3 m, donc :

$$I_2 = \frac{3\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{m}} \times 2\ \mathrm{A} \quad = \quad \mathbf{6{,}00\ A}$$



b) I = 2,80 A vers z^-

À gauche du fil 1, son courant vers z^+ entraîne un champ magnétique vers y^-, en accord avec la circulation antihoraire du champ (figure ci-contre).

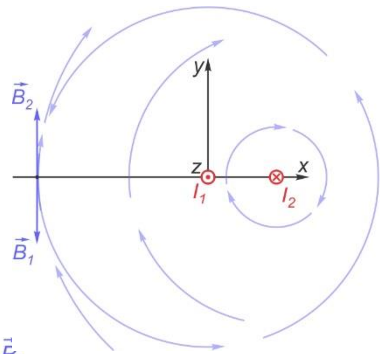
retour à la question ▲

Pour annuler ce champ, le fil 2 doit produire au même point un champ dirigé vers y^+, ce qui suggère une circulation antihoraire du champ du fil 2. Selon la règle de la main droite, le fil 2 doit alors porter un courant vers le z^-.

Comme en a), on doit considérer les modules des deux champ magnétiques égaux, et l'équation (1) sera obtenue de la même manière; seules les distances R_1 et R_2 doivent être déterminées pour la nouvelle situation. Le point étudié se trouve à R_1 = 10 cm de l'origine (du fil 1), du côté négatif de l'axe x, donc à R_2 = 14 cm du fil 2. On a alors :

$$I_2 = \frac{R_2}{R_1} I_1$$

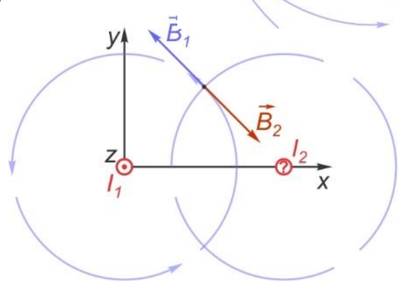
$$I_2 = \frac{14\ \mathrm{m}}{10\ \mathrm{m}} \times 2\ \mathrm{A} \quad = \quad \mathbf{2{,}80\ A}$$



c) Aucune valeur de courant ne permet un champ nul.

retour à la question ▲

Si le point étudié ne se situe pas sur l'axe x, le champ de chaque fil ne sera pas parallèle à l'axe y et d'aucune manière deux fils distants sur l'axe x ne peuvent y produire des champs magnétiques de directions opposées. Sur la figure ci-contre, on voit le champ $\vec{B}_1$ orienté à environ 135°, et en brun, le champ requis pour annuler $\vec{B}_1$. Aucune valeur de courant I_2 ne permet d'obtenir un champ orienté de la bonne manière.



retour à la question ▲

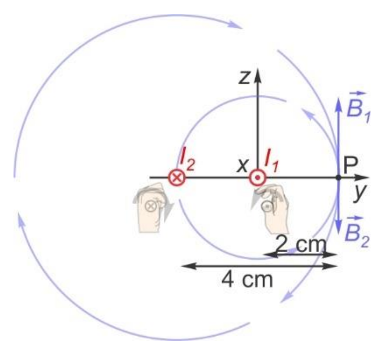
7.9 Solution : Le champ de deux fils

retour à la question ▲

a) $\vec{B}$ = 10,0$\vec{k}$ µT

retour à la question ▲

Les deux fils sont parallèles mais les courants sont en sens contraires. Les champs magnétiques des deux fils, au point étudié, seront donc parallèles et en sens contraires (voir figure ci-contre). Le fil 1 produira un champ orienté selon z^+ et le fil 2, un champ orienté selon z^-.



Calculons le module de chacun des deux champs pour les additionner ensuite. Pour le fil 1, à une distance de 2 cm du point étudié :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R_1} \quad = \quad \frac{\left(4\pi \times 10^{-7}\ \frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}\right) \times 3\ \mathrm{A}}{2\pi \times 0{,}02\ \mathrm{m}} \quad = \quad 3{,}00 \times 10^{-5}\ \mathrm{T}$$

Ce champ est dirigé vers z^+, donc $\vec{B}_1 = 30{,}0\vec{k}\ \mu\mathrm{T}$.

Pour le fil 2, à une distance de 4 cm du point étudié :

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R_2} \quad = \quad \frac{\left(4\pi \times 10^{-7}\ \frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}\right) \times 4\ \mathrm{A}}{2\pi \times 0{,}04\ \mathrm{m}} \quad = \quad 2{,}00 \times 10^{-5}\ \mathrm{T}$$

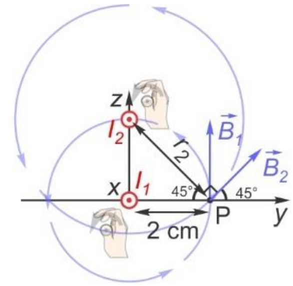
Ce champ est dirigé vers z^-, donc $\vec{B}_2 = -20{,}0\vec{k}\ \mu\mathrm{T}$.

Le champ résultant est alors :

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad = \quad \left(30{,}0\vec{k}\ \mu\mathrm{T}\right) + \left(-20{,}0\vec{k}\ \mu\mathrm{T}\right) \quad = \quad \mathbf{10{,}0\vec{k}\ \mu T}$$

retour à la question ▲

b) $\vec{B}$ = (20,0$\vec{j}$+50,0$\vec{k}$) µT



L'emplacement du second fil et le sens de son courant entraîne la représentation ci-contre. Par rapport au point P, le fil 1 est toujours au même endroit; son champ est donc le même que celui trouvé en a) pour ce fil : $\vec{B}_1 = 30{,}0\vec{k}$ µT.

C'est pour le fil 2 qu'on doit faire de nouveaux calculs. Selon la règle de la main droite, le fait que le courant aille vers x^+ entraîne un champ tournant en sens antihoraire. Au point P, le champ $\vec{B}_2$ est donc orienté à 45° dans le plan *yz* (voir figure). Pour calculer le module, on doit déterminer la distance r_2 qui séparer le fil 2 du point P :

$$r_2 = \sqrt{(0{,}02\text{ m})^2 + (0{,}02\text{ m})^2} \quad = \quad \sqrt{0{,}0008}\text{ m}$$

Le module du champ $\vec{B}_2$ est :

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R_2} \quad = \quad \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\text{T·m}}{\text{A}}\right)\times 4\text{ A}}{2\pi\times\left(\sqrt{0{,}0008}\text{ m}\right)} \quad = \quad 2{,}83\times10^{-5}\text{ T}$$

Ce champ étant dirigé à 45° dans le plan *yz* (voir l'angle de 45° illustré sur la figure), ses composantes sont :

$$B_{2y} = B_2 \times \cos 45° \quad = \quad 2{,}00\times10^{-5}\text{ T}$$

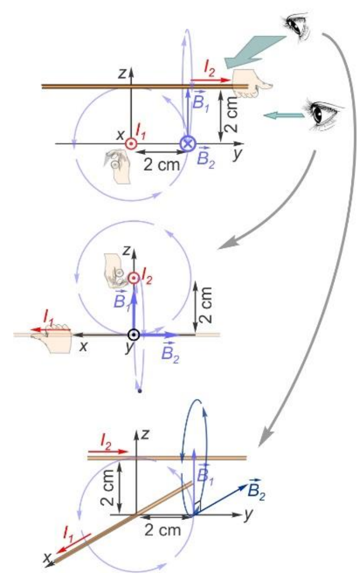
$$B_{2z} = B_2 \times \sin 45° \quad = \quad 2{,}00\times10^{-5}\text{ T}$$

Le vecteur $\vec{B}_2$ est donc défini par $\left(20{,}0\vec{j} + 20{,}0\vec{k}\right)$ µT. On peut alors faire les sommes des deux champs magnétiques :

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad = \quad \left(30{,}0\vec{k}\text{ µT}\right) + \left(\left(20{,}0\vec{j} + 20{,}0\vec{k}\right)\text{ µT}\right) \quad = \quad \mathbf{\left(20{,}0\vec{j} + 50{,}0\vec{k}\right)\text{ µT}}$$

retour à la question ▲

c) $\vec{B}$ = (–40,0$\vec{i}$+30,0$\vec{k}$) µT



L'illustration ci-contre montre la disposition du second fil (selon différents points de vue). Si le point de vue choisi montre bien le fil, son champ sera perpendiculaire au schéma. Le second point de vue permet des percevoir les deux champs dans le plan du schéma, c'est alors l'emplacement du point étudié et des fils qui est moins bien illustré. L'autre vue montre la perspective.

Encore une fois, le fil 1 est produit toujours le même champ que déterminé précédemment : $\vec{B}_1 = 30{,}0\vec{k}$ µT.

Pour le fil 2, le point étudié se trouve à 2 cm et la règle de la main droite indique que son champ sera orienté vers x^- (voir figure). Son module est :

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R_2} \quad = \quad \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\text{T·m}}{\text{A}}\right)\times 4\text{ A}}{2\pi\times 0{,}02\text{ m}} \quad = \quad 4{,}00\times10^{-5}\text{ T}$$

Ce champ est dirigé vers x^-, donc $\vec{B}_2 = -40{,}0\vec{i}$ µT.

Le champ résultant est alors :

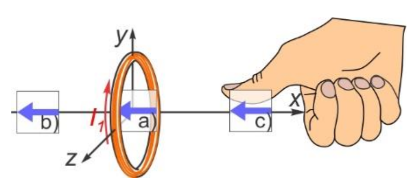
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad = \quad \left(30{,}0\vec{k}\text{ µT}\right) + \left(-40{,}0\vec{i}\text{ µT}\right) \quad = \quad \mathbf{\left(-40{,}0\vec{i} + 30{,}0\vec{k}\right)\text{ µT}}$$

retour à la question ▲

7.2 LE CHAMP GÉNÉRÉ PAR UNE BOUCLE DE COURANT

7.10 Solution : Dans quelle direction II retour à la question ▲

La figure ci-contre montre l'utilisation de la main droite pour déterminer le sens du champ magnétique sur l'axe de la boucle. Le champ varie en intensité le long de cet axe, mais il a la même orientation partout le long de l'axe, donc vers la gauche, vers l'axe x^-.



a) ←

b) ←

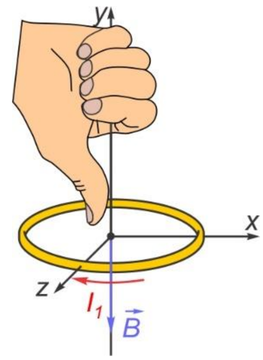
c) ←

retour à la question ▲

7.11 Solution : L'anneau retour à la question ▲

retour à la question ▲

D'abord, l'utilisation de la règle de la main droite permet de déterminer l'orientation du champ magnétique à l'endroit étudié. La main enroulée dans le sens du courant autour de l'axe *y* (l'axe de l'anneau), le pouce pointe vers y^- : c'est la direction du champ.



a) B = 8,38 µT

Pour une boucle (cet anneau est une boucle de courant d'un seul tour), le module du champ magnétique au centre est donné par :

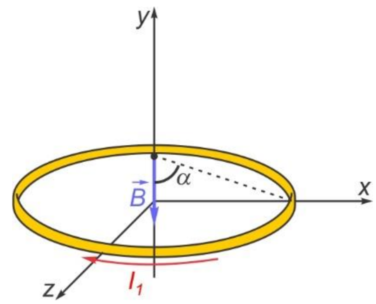
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a}$$

Puisque l'anneau constitue un seul tour, $N = 1$, et que le rayon de l'anneau est a = 0,15 m :

$$B = \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}}\right)\times1\times2\ \mathrm{A}}{2\times0{,}15\ \mathrm{m}} = \mathbf{8{,}38\ \mu T}$$

retour à la question ▲

b) B = 7,15 µT



Le champ magnétique recherché sera toujours dirigé vers l'axe y^-.

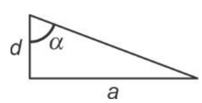
Pour tout point sur l'axe d'une boucle de courant ailleurs qu'au centre, le module du champ magnétique est donné par :

$$B = \frac{\mu_0 NI \sin^3\alpha}{2a}$$

L'angle α étant défini par l'angle entre l'axe de la boucle et la droite joignant le point étudié à un point de la boucle (voir figure ci-contre). Cet angle doit être calculé à partir des dimensions connues, le point étant à une distance d = 5 cm au-dessus du plan de l'anneau :

$$\tan\alpha = \frac{a}{d}$$

$$\alpha = \operatorname{atan}\frac{a}{d}$$



retour à la question ▲

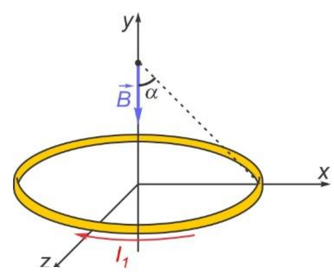
Le module du champ au point étudié est alors :

$$B = \frac{\mu_0 NI \sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{d}\right)}{2a} \qquad (1)$$

$$B = \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}}\right)\times1\times2\ \mathrm{A}\times\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{15\ \mathrm{cm}}{5\ \mathrm{cm}}\right)}{2\times0{,}15\ \mathrm{m}} = \mathbf{7{,}15\ \mu T}$$

c) B = 2,96 µT

Pour un point situé à d = 15 cm au-dessus de l'anneau, l'équation (1) développée en b) est la même, avec seule la valeur d étant différente :



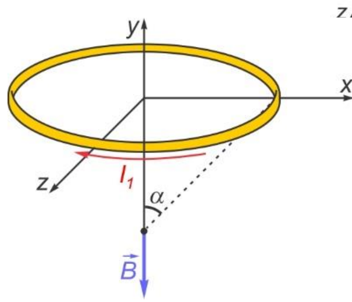
$$B = \frac{\mu_0 NI \sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{d}\right)}{2a}$$

$$B = \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}}\right)\times1\times2\ A\times\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{15\ \mathrm{cm}}{15\ \mathrm{cm}}\right)}{2\times0{,}15\ \mathrm{m}} = \mathbf{2{,}96\ \mu T}$$

retour à la question ▲

d) B = 2,96 µT

Pour un point situé à d = 15 cm sous l'anneau, la distance d à insérer dans l'équation (1) est la même que si le point était au-dessus de l'anneau. Le calcul donnera donc le même résultat qu'en c), 2,96 µT, et le champ est dirigé dans la même direction.

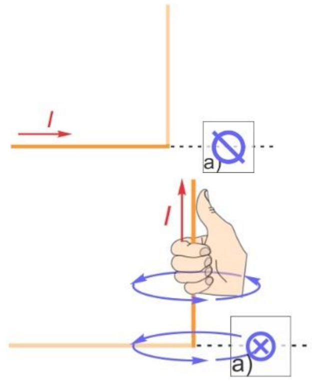


retour à la question ▲

7.12 Solution : Le courant sinueux retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) ⊗, un champ entrant



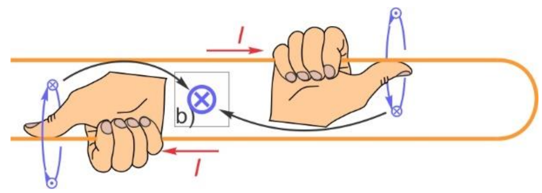
On doit traiter distinctement les deux sections de fil. Pour l'un des fils, l'étiquette se trouve sur l'axe du fil, donc à une distance nulle de l'axe du fil. Le champ généré par cette section du fil y est donc nul.

Pour l'autre section de fil, même si l'étiquette est vis-à-vis l'extrémité du fil, la règle de la main droite s'applique encore pour déterminer le sens de circulation du champ magnétique autour de l'axe du fil. La figure ci-contre montre dans quel sens le champ tourne autour de l'axe du fil, et qu'alors le champ entre dans le plan de l'illustration à l'emplacement de l'étiquette.

Le champ résultant est la somme des deux contributions. L'une étant nulle, celle du champ entrant définit à elle seule l'orientation du champ magnétique.

retour à la question ▲

b) ⊗, un champ entrant

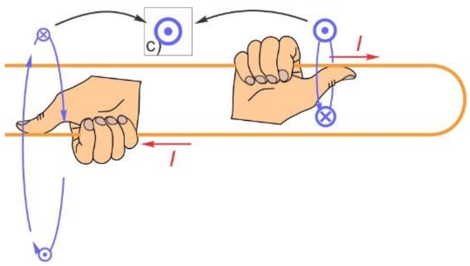


D'abord, on doit comprendre que si le courant va vers la droite sur la branche du haut, il ira vers la gauche sur la branche du bas car c'est le même fil.

Le champ résultant à l'endroit de l'étiquette sera donné par la somme des contributions de champ produites par les deux branches. Comme les deux portions de fil sont à la même distance de cet endroit, les deux contributions de champ auront le même module. Pour le sens, on doit utiliser la règle de la main droite pour chaque portion séparément. L'illustration ci-haut montre que les deux portions de fil génèrent un champ entrant dans l'illustration pour l'espace entre les fils. Les deux contributions sont donc dans la même direction, entrante.

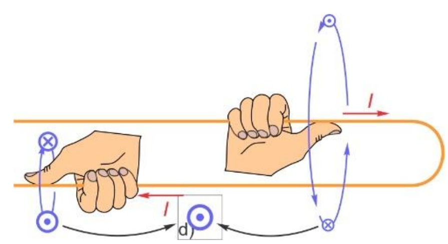
retour à la question ▲

c) ⊙, un champ sortant



Au-dessus des deux fils, les deux contributions de champ sont en sens contraires. Mais la portion de fil du haut étant plus rapprochée de l'endroit étudié (pour des courants identiques), sa contribution de champ est plus grande. Le champ sortant généré par le fil du haut est donc plus grand que le champ entrant généré par le fil du bas. L'addition des deux contributions entraîne donc nécessairement un champ sortant.

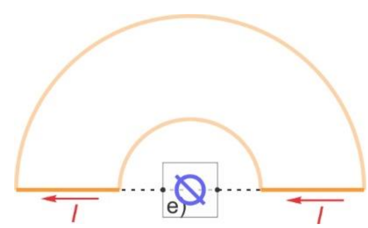
d) ⊙, un champ sortant



Sous les deux fils, à l'inverse de la zone au-dessus, c'est le fil du dessous qui est plus rapproché et qui aura une contribution dominante pour le sens du champ. L'illustration ci-contre montre la règle de la main droite qui détermine le sens du champ généré par chacun des deux fils. Le champ sortant généré par le fil du bas est plus grand que le champ entrant généré par le fil du haut. Le champ résultant est donc nécessairement un champ sortant.

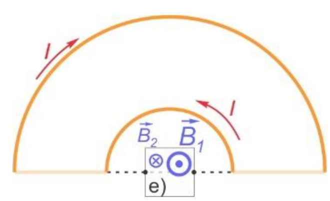
retour à la question ▲

e) ⊙, un champ sortant



On doit séparer les différentes portions du montage pour connaître l'orientation de chaque contribution de champ. Pour les deux portions de fil horizontales, le point étudié est sur l'axe des fils directement, donc à une distance nulle de l'axe. Leur champ magnétique à cet endroit est donc nul (voir figure ci-contre).

Pour les portions en demi-cercle, le sens du champ produit a la même orientation que le champ d'un anneau entier. Déterminons d'abord le sens du champ généré pour chacune des portions en demi-cercle.



Pour le demi-cercle intérieur, le courant circule en sens antihoraire. En enroulant la main droite dans le sens de ce courant, le pouce indique la direction sortante de l'illustration. Le champ généré par cette portion est donc un champ sortant.

Pour le demi-cercle extérieur, le courant circule en sens horaire. La règle de la main droite indique alors un champ magnétique entrant (le pouce pointe vers la direction entrante de la figure).

Les deux champs sont donc en sens contraires et on cherche maintenant à déterminer lequel a une action dominante. Selon l'équation du champ d'une boucle de courant en son centre :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a}$$

Si le courant est le même, seul le rayon a permet de distinguer les modules des deux portions de fil. Le rayon étant au dénominateur de l'équation, un rayon plus petit entraîne un champ plus grand. La contribution de champ par le courant dans le plus petit demi-cercle (plus rapproché) est donc plus grande. Le champ sortant généré par le petit demi-cercle est plus grand que le champ entrant généré par le grand demi-cercle. Le champ magnétique est donc un champ sortant.

retour à la question ▲

7.13 Solution : Le nombre de tours retour à la question ▲

N = 191

Le champ au centre d'une boucle de courant est :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a}$$

La seule inconnue est le nombre de spires N recherché :

$$N = \frac{2aB}{\mu_0 I} \quad = \quad \frac{2\times(0{,}12\ \mathrm{m})\times(125\times10^{-6}\ \mathrm{T})}{(4\pi\times10^{-7}\ \frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}})\times(125\times10^{-3}\ \mathrm{A})} \quad = \quad \mathbf{191}$$

(N est un nombre sans unités)

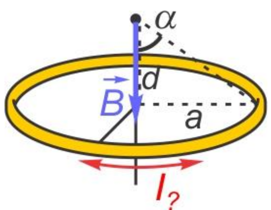
retour à la question ▲

7.14 Solution : Le champ au-dessus retour à la question ▲

B = 114 mT

Le module du champ magnétique à une distance d d'une boucle du courant, sur son axe, est donné par :

$$B = \frac{\mu_0 NI \sin^3\alpha}{2a}$$



Dans cette équation, on ne connaît que le module du champ, et le rayon de la boucle. La seule autre information donnée, la hauteur du point étudié au-dessus de la bouche, est liée à l'angle α contenu dans l'équation

L'angle α est lié au rayon a et à la hauteur d au-dessus du plan de la boucle par :

$$\tan\alpha = \frac{a}{d}$$

$$\alpha = \operatorname{atan}\frac{a}{d}$$

d'où:

$$B = \frac{\mu_0 NI \sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{d}\right)}{2a}$$

Pour les deux distances d traitées (3 cm et 7,5 cm) le seul paramètre qui varie est le champ B résultant. Le reste des termes de l'équation peut donc être vu comme une constante et mis en évidence :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a}\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{d}\right)$$

Exprimons l'équation précédente pour chacun des deux endroits :

$$B_{3\ cm} = \frac{\mu_0 NI}{2a}\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{3\ \mathrm{cm}}\right) \qquad B_{7{,}5\ cm} = \frac{\mu_0 NI}{2a}\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{7{,}5\ \mathrm{cm}}\right)$$

En isolant la portion constante des deux expressions, on peut réduire l'équation à une forme ne comportant qu'une inconnue :

$$\frac{\mu_0 NI}{2a} = \frac{B_{3\ cm}}{\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{3\ \mathrm{cm}}\right)} = \frac{B_{7{,}5\ cm}}{\sin^3\left(\operatorname{atan}\frac{a}{7{,}5\ \mathrm{cm}}\right)}$$

$$B_{7{,}5\ cm} = B_{3\ cm}\times\left(\frac{\sin\left(\operatorname{atan}\frac{a}{7{,}5\ \mathrm{cm}}\right)}{\sin\left(\operatorname{atan}\frac{a}{3\ \mathrm{cm}}\right)}\right)^3 = 560\ \mathrm{mT}\times\left(\frac{\sin\left(\operatorname{atan}\frac{4\ \mathrm{cm}}{7{,}5\ \mathrm{cm}}\right)}{\sin\left(\operatorname{atan}\frac{4\ \mathrm{cm}}{3\ \mathrm{cm}}\right)}\right)^3 = \mathbf{114\ mT}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

retour à la question ▲

7.15 Solution : La résistance de la boucle retour à la question ▲

retour à la question ▲

R = 1,77 Ω

On a évidemment besoin de l'équation du champ magnétique au centre d'une boucle :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a}$$

On doit aussi faire un lien entre le courant I contenu dans l'équation, le potentiel donné et la résistance recherchée. C'est donc la loi d'Ohm :

$$\Delta V = RI \quad \rightarrow \quad I = \frac{\Delta V}{R}$$

En réunissant les deux équations :

$$B = \frac{\mu_0 N \times \frac{\Delta V}{R}}{2a} = \frac{\mu_0 N \Delta V}{2aR}$$

Comme on cherche la résistance du fil :

$$R = \frac{\mu_0 N \Delta V}{2aB} = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7}\ \frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}\right) \times 10 \times 3{,}6\ V}{2 \times (0{,}085\ \mathrm{m}) \times (150 \times 10^{-6}\ \mathrm{T})} = \mathbf{1{,}77\ \Omega}$$

retour à la question ▲

7.16 Solution : Roule-déroule retour à la question ▲

retour à la question ▲

B = 288 µT

Outre l'équation du champ magnétique pour un point au centre d'une boucle de courant, on doit utiliser les dimensions de la boucle et la longueur du fil utilisé pour retrouver l'information du rayon de la boucle assemblée. Le nombre de tours de fil (N) est lié à la longueur (L) du fil utilisé et à la circonférence (C) de la boucle de rayon (a) par :

$$L = N \cdot \mathrm{Circ} = N \times (2\pi a) \quad \rightarrow \quad N = \frac{L}{2\pi a}$$

En intégrant cette expression de N à l'équation du champ magnétique au centre d'une boucle, on trouve :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a} = \frac{\mu_0 \left(\frac{L}{2\pi a}\right) I}{2a} = \frac{\mu_0 LI}{4\pi a^2}$$

Cette équation nous apprend que pour un même courant I et une longueur fixe L du fil utilisé, le champ est proportionnel à l'inverse du rayon de la boucle produite. Néanmoins, faisons l'algèbre détaillé pour le calcul du nouveau champ. Si on écrit cette équation pour les deux valeurs de rayon comparées (posons a_1 = 12 cm et a_2 = 20 cm) :

$$B_1 = \frac{\mu_0 LI}{4\pi} \cdot \frac{1}{a_1^2} \qquad \text{et} \qquad B_2 = \frac{\mu_0 LI}{4\pi} \cdot \frac{1}{a_2^2}$$

retour à la question ▲

Via la portion commune des deux équations, on peut réunir les deux scénarios dans une seule équation et ensuite isoler B_2, le champ magnétique pour le scénario où a = 20 cm :

$$\frac{\mu_0 LI}{4\pi} = B_1 a_1^2 = B_2 a_2^2$$

$$B_2 = B_1 \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 = 800\ \mu\mathrm{T} \times \left(\frac{12\ \mathrm{cm}}{20\ \mathrm{cm}}\right)^2 = \mathbf{288\ \mu T}$$

Le champ est plus faible lorsque le rayon est plus grand, ce qui est normal puisque le point central se trouve alors plus éloigné du fil de la boucle, entraînant un effet moins fort.

retour à la question ▲

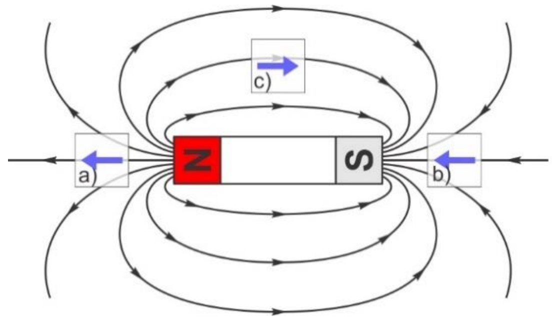
7.3 LE CHAMP MAGNÉTIQUE GÉNÉRÉ PAR UNE SOLÉNOÏDE À *N* SPIRES

retour à la question ▲

7.17 Solution : Dans quelle direction III retour à la question ▲

Pour un aimant permanent, les lignes de champ magnétique sont émises par le pôle Nord et absorbées par le pôle Sud. Les lignes de champ contournent l'aimant de tous les côtés pour relier les deux pôles dans un sens conséquent (voir figure ci-contre).

Sur l'axe de l'aimant, en a) et en b), le champ est parallèle à l'axe , dans le sens défini par le sens des lignes de champ, donc vers la gauche dans les deux cas. En c), les lignes de champ reviennent vers la droite pour retourner vers le pôle Sud; le champ magnétique y est donc aussi dirigé vers la droite, horizontalement si on se trouve vis-à-vis le centre de l'aimant.



a) ←

b) ←

c) →

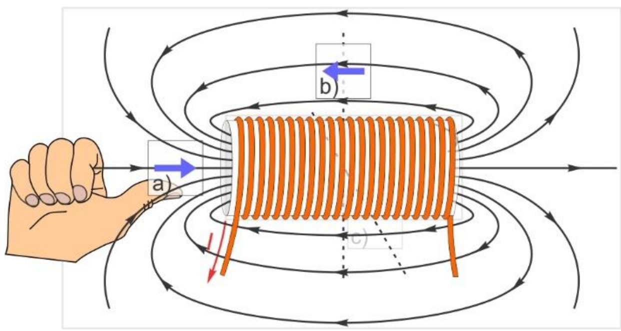
retour à la question ▲

retour à la question ▲

7.18 Solution : Dans quelle direction IV retour à la question ▲

a) →

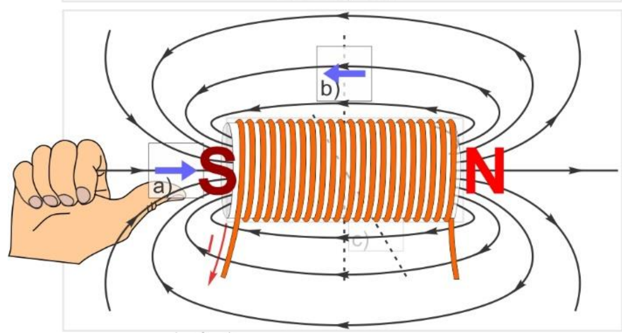
On doit d'abord identifier le sens de rotation du courant dans le solénoïde. Le courant quitte le solénoïde par le fil à l'extrémité gauche du solénoïde. À cet endroit, le fil redescend devant le solénoïde, de notre point de vue (figure ci-contre). Si on enroule les doigts de la main droite dans ce sens de rotation, on trouve la direction du champ magnétique sur l'axe du solénoïde : le pouce pointe vers la droite sur l'illustration. On sait donc qu'à la position a), le champ magnétique est orienté vers la droite.



b) ←

Le solénoïde est un électroaimant et son champ a une forme très semblable à celui d'un aimant permanent, pour lequel on peut identifier un pôle Nord et un pôle Sud. Des lignes de champ sont émises par le Nord et contourne l'aimant pour revenir rejoindre son pôle Sud (s'il est seul dans son entourage).

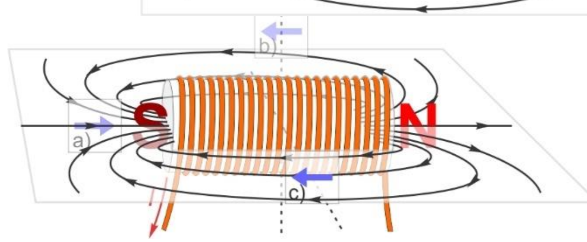
Le tracé des lignes de champ dans le plan de l'illustration nous permet de deviner qu'à l'emplacement b) (vis-à-vis le centre du solénoïde), le champ est dirigé horizontalement vers la gauche.



retour à la question ▲

c) ←

Devant le solénoïde (devant le plan de l'illustration), les lignes de champ contournent le solénoïde pour revenir vers son pôle Sud de la même manière qu'au-dessus et en-dessous (voir figure ci-contre). Le champ est donc également dirigé vers la gauche (vis-à-vis le centre du solénoïde), selon le même principe qu'en b).



retour à la question ▲

7.19 Solution : Le solénoïde simple retour à la question ▲

a) n = 2500 m^{-1}

n (minuscule) est le nombre de tours par unité de longueur pour le solénoïde, et est donné par :

$$n = \frac{N}{L}$$

Puisqu'il est indiqué que le solénoïde comporte 200 tours de fil et mesure 8 cm de longueur, on peut calculer n :

$$n = \frac{200}{0{,}08\ \mathrm{m}} = \mathbf{2500\ m^{-1}}$$

b) B = 1,26 mT

Le champ magnétique au centre d'un solénoïde a un module donné par :

$$B = \mu_0 n I = \left(4\pi \times 10^{-7}\ \tfrac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}\right) \times 2500\ \mathrm{m^{-1}} \times 0{,}400\ \mathrm{A} = \mathbf{1{,}26\ mT}$$

retour à la question ▲

7.20 Solution : Le champ variable retour à la question ▲

Développons l'équation du champ magnétique en fonction des paramètres susceptibles de varier.

Nommons L_{fil} la longueur du fil utilisé pour réaliser le solénoïde. Le nombre de tours N qu'on pourra enrouler avec cette longueur de fil dépend de la circonférence, donc du rayon du cylindre :

$$N = \frac{L_{fil}}{Circ} = \frac{L_{fil}}{2\pi r}$$

Pour un solénoïde (beaucoup plus long que son rayon), le champ magnétique en son centre a un module donné par :

$$B = \mu_0 n I, \qquad \text{où} \qquad n = \frac{N}{L}$$

En intégrant les trois dernières équations, on obtient :

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{L} I = \frac{\mu_0 \left(\frac{L_{fil}}{2\pi r}\right) I}{L}$$

$$B = \frac{\mu_0 L_{fil} I}{2\pi r L} \qquad (1)$$

Cette expression permet de déterminer la manière dont variera le champ si on fait varier chacun des autres paramètres.

a) B augmente

Le courant I se trouve au numérateur dans l'équation obtenue précédemment, et on comprend que le module du champ magnétique varie proportionnellement au courant :

$$B = \frac{\mu_0 L_{fil} I}{2\pi r L}$$

Ainsi, le module du champ augmente lorsque le courant augmente.

b) B ne varie pas

Si on produit un solénoïde de rayon plus petit en gardant constant l'espacement entre les enroulements voisins, le nombre de tours par unité de longueur n sera le même. Vu autrement, pour une même longueur de fil, le rayon le nombre total d'enroulements du solénoïde sera d'autant plus grand que le rayon est plus petit, et la densité d'enroulement $n = \frac{N}{L}$ sera la même. Selon l'équation principale du champ d'un solénoïde, le champ sera le même :

$$B = \mu_0 n I$$

Si on veut utiliser l'équation (1) développée plus tôt, le rayon r plus petit varie inversement à la longueur L du solénoïde, et leur produit demeure constant (pour une longueur de fil disponible constante L_{fil}). Le module du champ magnétique demeure donc inchangé.

$$B = \frac{\mu_0 L_{fil} I}{2\pi r L}$$

c) B ne varie pas

Si on ajoute des tours de fil avec la même densité d'enroulement, on ne modifie pas le paramètre n de l'équation principale du module du champ magnétique, et celui-ci conservera la même valeur :

$$B = \mu_0 n I$$

Dans l'équation (1), la longueur L du solénoïde augmentera de la même proportion que la longueur du fil L_{fil}, et leur rapport demeurera constant, d'où le module du champ qui demeure constant :

retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

retour à la question ▲

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \cdot \frac{L_{fil}}{L}$$

d) *B* diminue

Si on étire le solénoïde, on réduit la densité d'enroulement *n* et le champ diminuera :

$$B = \mu_0 n I$$

Dans l'équation (1), étirer le solénoïde ne fait varier que le paramètre *L* à la hausse (au dénominateur), et fait donc diminuer le module *B* du champ magnétique :

$$B = \frac{\mu_0 L_{fil} I}{2\pi r L}$$

retour à la question ▲

7.21 Solution : Le nombre de tours II

retour à la question ▲

N = 34,8

La valeur recherchée est le nombre réel de tours de fil composant le solénoïde, *N*. L'équation du module du champ magnétique d'un solénoïde contient plutôt la densité d'enroulement *n* et demande une substitution pour considérer le nombre réel *N* :

$$B = \mu_0 n I \qquad \text{où} \qquad n = \frac{N}{L}$$

Donc :

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I = \frac{\mu_0 N I}{L}$$

On constate que le diamètre du solénoïde n'intervient pas dans le calcul du champ. Si on isole *N* pour procéder au calcul :

$$N = \frac{BL}{\mu_0 I} = \frac{(0{,}273\times10^{-3}\ \mathrm{T})\times(0{,}068\ \mathrm{m})}{\left(4\pi\times10^{-7}\ \frac{\mathrm{T{\cdot}m}}{\mathrm{A}}\right)\times 0{,}425\ \mathrm{A}} = \mathbf{34{,}8}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

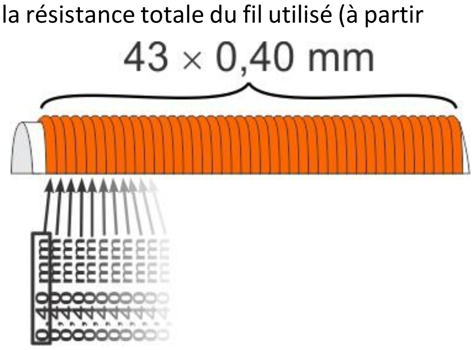
7.22 Solution : Le vecteur champ

retour à la question ▲

$\vec{B} = -52{,}2\vec{\imath}\ \mathrm{mT}$

Procédons d'abord au calcul du module du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde, ensuite on déterminera son orientation pour en faire un vecteur.

Le diamètre du fil utilisé (d_{fil}) aura deux utilités : d'une part, il permet de déterminer la résistance totale du fil utilisé (à partir aussi de la résistivité du cuivre), et permet aussi de déterminer la longueur *L* du solénoïde puisque cette longueur sera déterminée par la distance totale occupée par *N* = 43 tours de fil, appuyés les uns contre les autres (voir figure ci-contre).



La longueur *L* du solénoïde est donc :

$$L_{sol} = N d_{fil} = 43 \times 0{,}40\ \mathrm{mm} = 0{,}0172\ \mathrm{m}$$

La résistance du fil servira à calculer le courant à partir de la différence de potentiel donnée. Cette résistance (*R*), selon le chapitre 2, est liée à la résistivité du matériau par :

$$R = \frac{\rho_{Cu} l}{A}$$

Dans cette équation, la longueur *l* est celle du fil (posons L_{fil}) et non celle du solénoïde (L_{sol}), et l'aire *A* (conductrice) se calcule à partir du diamètre du fil :

$$R = \frac{\rho_{Cu} L_{fil}}{A} \qquad \text{et} \qquad A = \pi r^2 = \frac{\pi d_{fil}^2}{4}$$

Donc :

$$R = \frac{\rho_{Cu} L_{fil}}{\left(\frac{\pi d_{fil}^2}{4}\right)} = \frac{4\rho_{Cu} L_{fil}}{\pi d_{fil}^2}$$

Aussi, la longueur de fil utilisée n'est pas encore connue, mais on sait que le solénoïde est constitué de 43 tours de fil dont le diamètre d'enroulement est connu (d_{sol}). La longueur de fil requise (L_{fil}) est donc :

$$L_{fil} = N \times \text{Circonférence} = N \times \pi d_{sol} = 43 \times \pi \times 0{,}02\ \mathrm{m} = 2{,}70\ \mathrm{m}$$

On peut alors calculer la résistance du fil utilisé :

$$R = \frac{4\rho_{Cu}L_{fil}}{\pi d_{fil}^2} = \frac{4\times(1{,}68\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})\times 2{,}70\ \text{m}}{\pi\times(0{,}40\times^{-3}\ \text{m})^2} = 0{,}361\ \Omega$$

retour à la question ▲

Cette valeur est une faible résistance, mais le cuivre utilisé est un très bon conducteur.
La loi d'Ohm permet de déterminer le courant parcourant le fil du solénoïde :

$$\Delta V = RI$$

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{6\ \text{V}}{0{,}361\ \Omega} = 16{,}6\ \text{A}$$

Ce courant est celui qui permettra de calculer le module du champ magnétique via l'équation :

$$B = \mu_0 n I \qquad \text{où} \qquad n = \frac{N}{L_{sol}}$$

Donc :

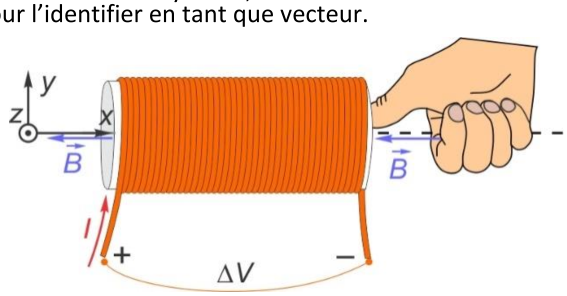
$$B = \mu_0 \frac{N}{L_{sol}} I = \frac{\mu_0 N I}{L_{sol}}$$

retour à la question ▲

$$B = \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\ \frac{\text{T}\cdot\text{m}}{\text{A}}\right)\times 43\times 16{,}6\ \text{A}}{0{,}0172\ \text{m}} = 52{,}2\ \text{mT}$$

Il s'agit du module du champ magnétique, nécessairement parallèle à l'axe du cylindre, donc orienté selon l'axe *x*. Cependant, on doit encore identifier le sens de ce champ (x^+ ou x^-) pour l'identifier en tant que vecteur.

Pour utiliser la règle de la main droite pour déterminer le sens du champ magnétique, on doit connaître le sens de circulation du courant autour du solénoïde. Selon la figure ci-contre, c'est à l'extrémité gauche qu'on applique un potentiel plus élevé parmi les deux branchements. Le courant entre donc dans le solénoïde en montant devant le cylindre pour redescendre derrière. La main droite illustrée s'enroule autour de l'axe dans le sens de ce courant, et le pouce donne la direction du champ magnétique, donc dirigé vers la gauche, vers x^-. Le vecteur champ magnétique à l'intérieur du solénoïde est donc :



$$\vec{B} = \mathbf{-52{,}2\vec{\imath}\ mT}$$

***Alternativement, la réunion algébrique de toutes les équations développées précédemment permet d'obtenir une expression algébrique simplifiée du module du champ magnétique :

retour à la question ▲

$$L_{sol} = N d_{fil} \qquad R = \frac{4\rho_{Cu}L_{fil}}{\pi d_{fil}^2} \qquad L_{fil} = N\pi d_{sol} \qquad B = \frac{\mu_0 N I}{L_{sol}} \qquad I = \frac{\Delta V}{R}$$

$$B = \frac{\mu_0 N I}{L_{sol}} = \frac{\mu_0 N \frac{\Delta V}{R}}{N d_{fil}} = \frac{\mu_0 N \times \left[\frac{\Delta V}{\left(\frac{4\rho_{Cu}L_{fil}}{\pi d_{fil}^2}\right)}\right]}{N d_{fil}} = \frac{\mu_0 N \times \left[\frac{\Delta V}{\left(\frac{4\rho_{Cu}N\pi d_{sol}}{\pi d_{fil}^2}\right)}\right]}{N d_{fil}}$$

$$B = \frac{\mu_0 N \Delta V \pi d_{fil}^2}{4\rho_{Cu}N\pi d_{sol} N d_{fil}} = \frac{\mu_0 \Delta V d_{fil}}{4\rho_{Cu} d_{sol} N}$$

$$B = \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\ \frac{\text{T}\cdot\text{m}}{\text{A}}\right)\times 6\ \text{V}\times\left(0{,}40\times10^{-3}\ \text{m}\right)}{4\times\left(1{,}68\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}\right)\times 0{,}02\ \text{m}\times 43} = 52{,}2\ \text{mT}$$

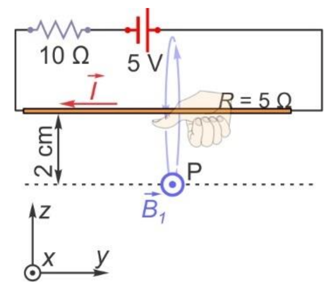
retour à la question ▲

7.23 Solution : Le synthèse retour à la question ▲

$\vec{B}$ = (3,33$\vec{\imath}$+44,7$\vec{\jmath}$) µT

On doit déterminer distinctement les vecteurs champs des deux montages à proximité du point P. Débutons avec le montage alimentant un fil droit.

Le champ qu'il produit (posons $\vec{B}_1$) demande qu'on connaisse le sens et la grandeur du courant qui y circule. Le champ qu'il génère sera alors donné par :



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R_1}$$

Pour déterminer ce courant, on doit connaître la résistance équivalente du circuit alimenté par la source de 5 V. Le fil lui-même ayant une résistance de 5 Ω est en série avec une résistance de 10 Ω. En série, les résistances s'additionnent. La loi d'Ohm permettra ensuite de calculer le courant :

$$R_1 = R_{fil} + R_{10} \quad = \quad 5\,\Omega + 10\,\Omega \quad = \quad 15\,\Omega$$

$$\Delta V = RI \quad \rightarrow \quad I_1 = \frac{\Delta V_1}{R_1} \quad = \quad \frac{5\text{ V}}{15\,\Omega} \quad = \quad 0,\overline{3}\text{ A}$$

Le module du champ est donc :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R_1} \quad = \quad \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\frac{\text{T·m}}{\text{A}}\right)\times0,\overline{3}\text{ A}}{2\pi\times0,02\text{ m}} \quad = \quad 3,\overline{33}\times10^{-6}\text{ T}$$

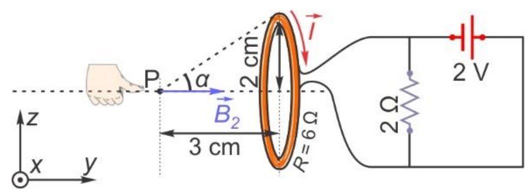
Ce champ étant circulaire autour du fil et le point P étant sous ce fil, l'orientation du champ au point P coïncide avec l'axe *x* positif (voir figure ci-haut). Ainsi :

$$\vec{B}_1 = 3,\overline{33}\vec{\imath}\ \mu\text{T}$$

Traitons ensuite le champ généré par la boucle de courant. Le champ de généré par cette boucle en un point de son axe (posons $\vec{B}_2$) dépend du courant qu'elle porte et est donné par :

$$B_2 = \frac{\mu_0 N I_2 \sin^3\alpha}{2a}$$

L'angle α se détermine à partir de l'emplacement du point P par rapport à la boucle (voir figure ci-contre) :



$$\tan\alpha = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} \quad = \quad \frac{2\text{ cm}}{3\text{ cm}}$$

$$\alpha = \text{atan}\frac{2\text{ cm}}{3\text{ cm}} \quad = \quad 33,7°$$

Le courant dans la boucle découle du circuit qui l'alimente. Cette boucle (*R* = 6 Ω) est en parallèle avec une résistance de 2 Ω, donc la boucle est soumise directement au potentiel de la source et la résistance de 2Ω n'a aucun effet. Le courant dans la boucle est donc calculé à l'aide de sa seule résistance (6Ω) et de la loi d'Ohm :

$$\Delta V = RI \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{\Delta V_2}{R_2} \quad = \quad \frac{2\text{ V}}{6\,\Omega} \quad = \quad \tfrac{1}{3}\text{ A}$$

Le module du champ généré par la boucle est donc :

$$B_2 = \frac{\mu_0 N I_2 \sin^3\alpha}{2a} \quad = \quad \frac{\left(4\pi\times10^{-7}\frac{\text{T·m}}{\text{A}}\right)\times25\times\frac{1}{3}\text{ A}\times\sin^3 33,7°}{2\times0,02\text{ m}} \quad = \quad 4,47\times10^{-5}\text{ T}$$

Le positionnement de la boucle et la RMD font en sorte que le champ qu'elle génère est orienté vers y^{+}, donc :

$$\vec{B}_2 = 147\vec{\jmath}\ \mu\text{T}$$

Si on additionne les deux champs, on a le champ résultant :

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad = \quad (3,\overline{33}\vec{\imath}\ \mu\text{T}) + (44,7\vec{\jmath}\ \mu\text{T}) \quad = \quad \mathbf{(3,\overline{33}\vec{\imath} + 44,7\vec{\jmath})\ \mu T}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲
retour à la question ▲