

CC3
Électromagnétisme
18 Janvier 2024 — PréIng2

Durée : 1h30 minutes (2h en cas de tiers temps)

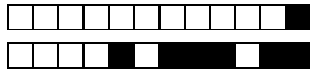
Sont interdits :

- les documents ;
- tous les objets électroniques (calculatrice, téléphone, tablette, ordinateur...) de même que les montres connectées ;
- les déplacements et les échanges.

Consignes :

1. Vérifiez que le sujet est composé de 16 pages et 20 questions ;
2. Seules les dernières feuilles doivent être rendues ;
3. Complétez la page 9 (nom, prénom etc...) dès le début officiel de l'épreuve ;
4. Les détails des calculs demandés doivent être portés sur ces dernières feuilles à l'emplacement correspondant à la question ;
5. Dans les deux grilles, les cases correspondant à la bonne réponse doivent être remplies complètement au stylo noir ;
6. Chaque question ne comporte qu'une seule réponse possible ;
7. Il n'y a de point négatif pour une mauvaise réponse que pour les questions de cours ;
8. Une case simplement cochée ne sera pas comptabilisée.

Le barème est donné à titre indicatif.



Données

Rotationnel d'un champ vectoriel \vec{U} , dans la base de coordonnées cylindriques $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$:

$$\text{rot}\vec{U} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U_z}{\partial \theta} - \frac{\partial U_\theta}{\partial z} \right) \vec{u}_r + \left(\frac{\partial U_r}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) \vec{u}_\theta + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial(rU_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial U_r}{\partial \theta} \right) \vec{u}_z$$

Questions de cours (5 points)

Question 1 (0.5 point)

En étudiant les plans de symétrie pour la distribution de courant, on trouve que la direction du champ magnétique \vec{B} en M est :

- A inclus dans tout plan Π de symétrie, passant par M .
- B celle de la droite orthogonale à un plan Π de symétrie, passant par M .
- C celle de la droite intersection d'au moins deux plans de symétrie, passant par M .
- D Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

Question 2 (0.5 point)

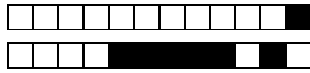
Le **théorème d'Ampère** relie le champ magnétique \vec{B} et l'intensité des courants I_i (comptés algébriquement) qui traversent toute surface ouverte S , s'appuyant sur un contour Γ . Il s'énonce :

- A $\oiint_{\Gamma} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 \sum_i I_i$
- B $\oint_{\Gamma} \vec{B} \wedge \vec{dl} = \mu_0 \sum_i I_i$
- C $\oiint_{\Gamma} \vec{B} \cdot \vec{dS} = \mu_0 \sum_i I_i$
- D $\oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 \sum_i I_i$
- E Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

Question 3 (1 point)

La **loi de Biot et Savart** permet de calculer le champ magnétique \vec{B} en M , pour un fil parcouru par un courant I . Elle s'énonce :

- A $\vec{B}(M) = \oint_{P \in \text{fil}} \frac{\mu_0 I \vec{dl} \wedge \overrightarrow{MP}}{4\pi MP^2}$
- B $\vec{B}(M) = \oint_{P \in \text{fil}} \frac{\mu_0 I \vec{dl} \wedge \overrightarrow{PM}}{4\pi PM^3}$
- C $\vec{B}(M) = \oint_{P \in \text{fil}} \frac{\mu_0 I \vec{dl} \wedge \overrightarrow{PM}}{4\pi PM^2}$
- D Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

**Question 4 (0.5 point)**

En étudiant les plans d'anti-symétrie pour la distribution de courant, on trouve que le vecteur champ magnétique \vec{B} en M

- A** a pour direction celle de la droite orthogonale à un plan Π' d'anti-symétrie, passant par M .
- B** est inclus dans tout plan Π' d'anti-symétrie, passant par M .
- C** a pour direction celle de la droite intersection d'un plan de symétrie et d'un plan d'anti-symétrie, passant par M .
- D** Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

Question 5 (0.5 point)

Soit c la vitesse de la lumière dans le vide. Elle s'exprime en fonction des deux constantes ϵ_0 et μ_0 par :

- A** $c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$
- B** $c = \epsilon_0 \mu_0$
- C** $c = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$
- D** $c^2 = \epsilon_0 \mu_0$
- E** Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

Question 6 (1 point)

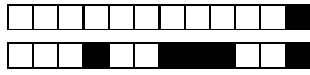
Soient la densité de courant \vec{j} et la densité volumique de charges ρ , l'équation locale de conservation de la charge électrique s'écrit alors :

- A** $\text{div } \vec{j} - \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
- B** $\text{div } \vec{j} - \epsilon_0 \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
- C** $\text{div } \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
- D** $\text{div } \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
- E** Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

Question 7 (1 point)

Les quatre équations de Maxwell pour le champ électromagnétique sont :

- A** $\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$; $\text{div } \vec{B} = 0$; $\text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$; $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
- B** $\text{div } \vec{E} = \rho$; $\text{div } \vec{B} = 0$; $\text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$; $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
- C** $\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$; $\text{div } \vec{B} = 0$; $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$; $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
- D** Aucune des réponses précédentes n'est correcte.



Cylindre parcouru par un courant (7 points)

On considère un cylindre plein infiniment long, d'axe (Oz) et de rayon R . Il est parcouru par un courant I constant et uniforme suivant sa longueur. On repère un point M de l'espace dans la base de coordonnées cylindriques : $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$.

On cherche l'expression du champ magnétique $\vec{B}(M)$ créé en un point M .

Question 8 (0.5 point)

La densité de courant surfacique \vec{j} s'écrit en fonction de I :

$\vec{j} = \frac{I}{\pi R^2} \vec{u}_r$

$\vec{j} = \frac{I}{\pi r^2} \vec{u}_z$

$\vec{j} = \frac{I}{\pi r^2} \vec{u}_z$

Aucune des réponses précédentes n'est correcte

$\vec{j} = \frac{I}{\pi R^2} \vec{u}_z$

Question 9 (0.5 point)

En regardant les invariances, on constate que $B(r, \theta, z)$ ne dépend que de :

φ r z θ Aucune des réponses précédentes n'est correcte

Question 10 (1 point)

Du fait des plans de symétries, le vecteur champ magnétique $\vec{B}(M)$ s'écrit :

$\vec{B}(M) = B(z) \vec{u}_r$ et $\vec{B}(0) \neq \vec{0}$.

$\vec{B}(M) = B(\theta) \vec{u}_\theta$ et $\vec{B}(0) = \vec{0}$.

$\vec{B}(M) = B(r) \vec{u}_\theta$ et $\vec{B}(0) \neq \vec{0}$.

$\vec{B}(M) = B(r) \vec{u}_\theta$ et $\vec{B}(0) = \vec{0}$.

$\vec{B}(M) = B(z) \vec{u}_z$ et $\vec{B}(0) \neq \vec{0}$.

Aucune des réponses précédentes n'est correcte

Question 11 (1 point)

En utilisant une des équations de Maxwell, on peut écrire le vecteur champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r \leq R$:

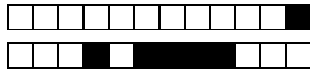
$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \vec{u}_\theta$

$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_\theta$

$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_z$

$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \vec{u}_z$

Aucune des réponses précédentes n'est correcte

**Question 12 (1 point)**

En utilisant une des équations de Maxwell, on peut écrire le vecteur champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r \geq R$:

A $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_\theta$

B $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \vec{u}_z$

C $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \vec{u}_\theta$

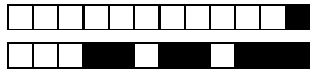
D $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_z$

E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 13 (3 points)

En utilisant le *théorème d'Ampère*, démontrer l'expression du champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r \geq R$, en détaillant les calculs (symétries, invariances, contour d'Ampère ...).

Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.



Solénoïde infini parcouru par un courant (4 points)

On considère un solénoïde de rayon a parcouru par un courant d'intensité I constant et uniforme, et dont la longueur peut être considérée comme infinie. Son axe Oz coïncide avec celui du repère cylindrique $\mathcal{R} = \{0; (\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)\}$. Il comporte n spires par unité de longueur.

On connaît le potentiel vecteur \vec{A} en un point quelconque de l'espace défini par sa distance r à l'axe Oz :

- si $r < a$, $\vec{A}(M) = \frac{\mu_0 n I}{2} r \vec{u}_\theta$
- si $r > a$, $\vec{A}(M) = \frac{\mu_0 n I}{2r} a^2 \vec{u}_\theta$

On cherche l'expression du champ magnétostatique $\vec{B}(M)$ en tout point de l'espace.

Question 14 (1 point)

Alors, on peut écrire le vecteur champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r < a$:

- A $\vec{B}(M) = \vec{0}$
- B $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 n I}{r} \vec{u}_z$
- C $\vec{B}(M) = \mu_0 n I r \vec{u}_z$
- D $\vec{B}(M) = \mu_0 n I \vec{u}_z$
- E Aucune des réponses précédentes n'est correcte

Question 15 (1 point)

Démontrer l'expression du champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r < a$ en détaillant les calculs (potentiel vecteur \vec{A} puis calcul de $\vec{B}(M)$...).

Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Question 16 (1 point)

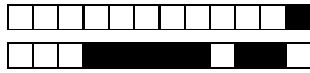
Alors, on peut écrire le vecteur champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r > a$:

- A $\vec{B}(M) = \vec{0}$
- B $\vec{B}(M) = \mu_0 n I \vec{u}_z$
- C $\vec{B}(M) = \mu_0 n I r \vec{u}_z$
- D $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 n I}{r} \vec{u}_z$
- E Aucune des réponses précédentes n'est correcte

Question 17 (1 point)

Démontrer l'expression du champ magnétique $\vec{B}(M)$ pour $r > a$ en détaillant les calculs (potentiel vecteur \vec{A} puis calcul de $\vec{B}(M)$...).

Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.



Spire (6 points)

Une spire de centre O et de rayon R est parcourue par un courant d'intensité I constante et uniforme (fig.1). On repère un point M de l'espace dans la base de coordonnées cylindriques : $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$.

On cherche l'expression du champ magnétique $\vec{B}(M)$ créé en un point M de l'axe de révolution de cette spire.

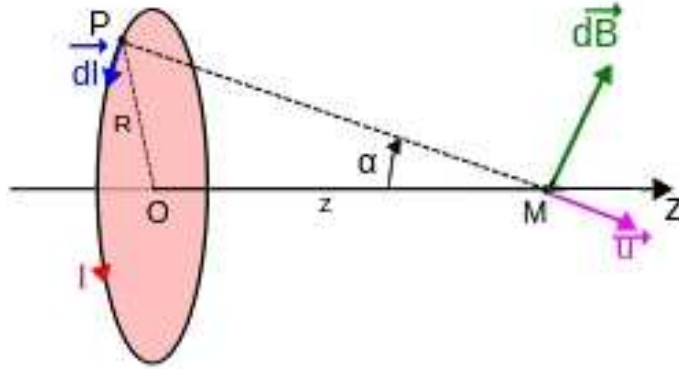


FIGURE 1 – Spire circulaire

Question 18 (1 point)

Du fait des invariances, le champ magnétique $\vec{B}(M)$ ne dépend que de :

- A θ B φ C r D z E Aucune des réponses précédentes n'est correcte.

Question 19 (1 point)

Du fait des symétries, le champ magnétique $\vec{B}(M)$

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> A est radial. | <input type="checkbox"/> D est selon (Oz) . |
| <input type="checkbox"/> B est orthoradial. | <input type="checkbox"/> E Aucune des réponses précédentes n'est correcte. |
| <input type="checkbox"/> C a une composante radiale et orthoradiale. | |

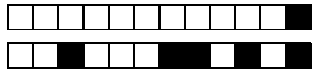
Question 20 (4 points)

Démontrer que le champ magnétique $\vec{B}(M)$ en un point M de l'axe de révolution de la spire s'écrit :

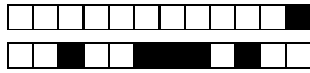
$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3(\alpha) \vec{u}_z$$

Détailler les calculs : symétries, invariances ...

Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.



PROJET



Électromagnétisme - PréIng2 - CC3 - 2023/2024

NOM :

Prénom :

n° Groupe :

Nom du chargé de TD :

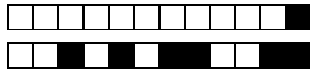
CODAGE DU N° ÉTUDIANT *HORIZONTALEMENT*
(DANS LE SENS DE LECTURE)

Premier chiffre du n° étudiant

Dernier chiffre du n° étudiant

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9

SENS DE REMPLISSAGE
→
DU N° ÉTUDIANT



Les réponses au QCM ne doivent être apportées que sur cette feuille.

La copie ne sera corrigée que si :

- elle comporte vos nom, prénom et groupe ;
- les cases sont complètement coloriées avec un stylo noir ;
- la feuille-réponse ne comporte pas de ratures.

Question 1 : A B C D

Question 2 : A B C D E

Question 3 : A B C D

Question 4 : A B C D

Question 5 : A B C D E

Question 6 : A B C D E

Question 7 : A B C D

Question 8 : A B C D E

Question 9 : A B C D E

Question 10 : A B C D E F

Question 11 : A B C D E

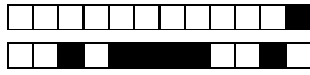
Question 12 : A B C D E

Question 14 : A B C D E

Question 16 : A B C D E

Question 18 : A B C D E

Question 19 : A B C D E



Question 13 :

Cylindre parcouru par un courant

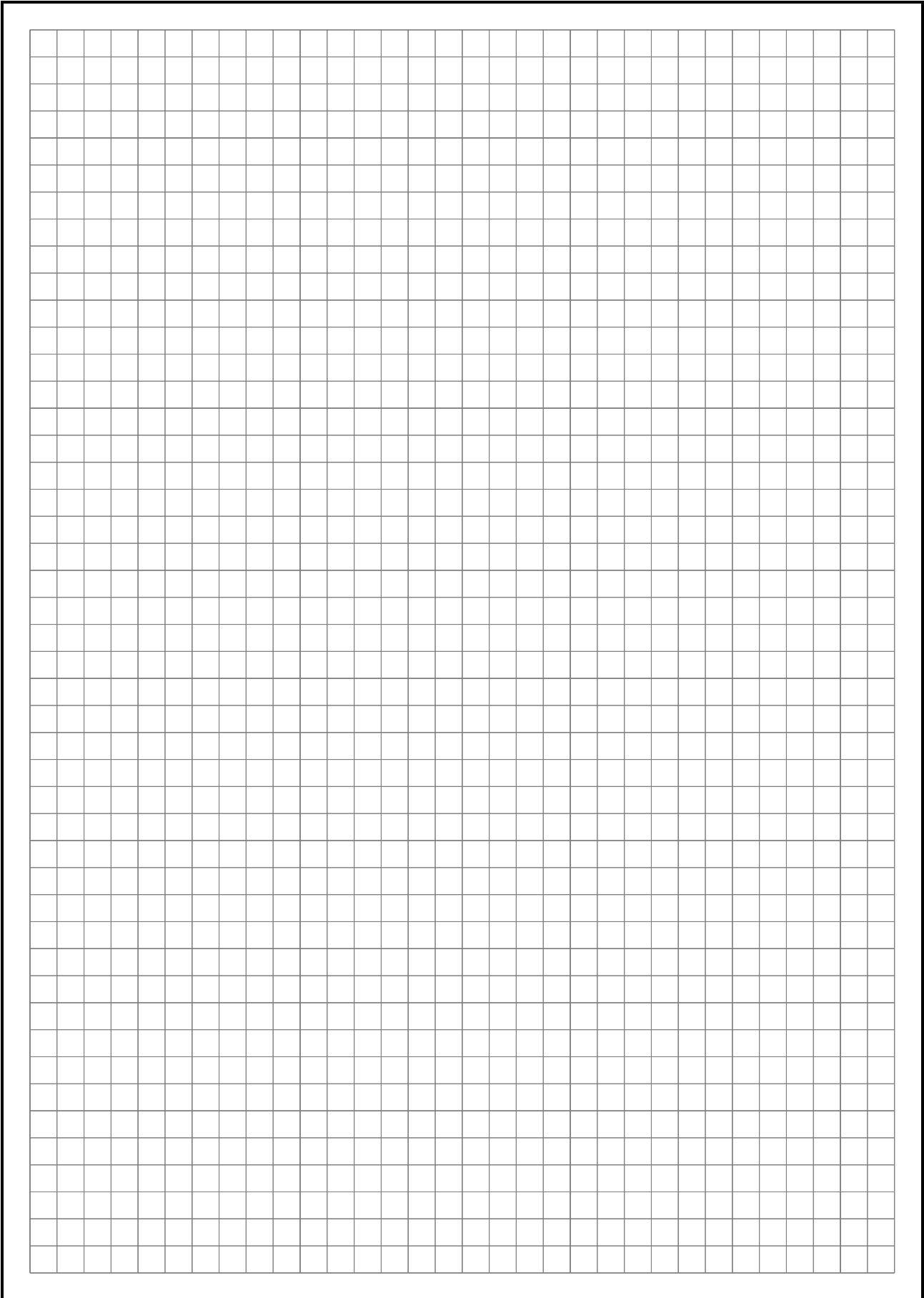
.5

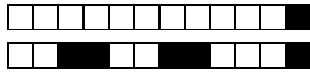
.5

1

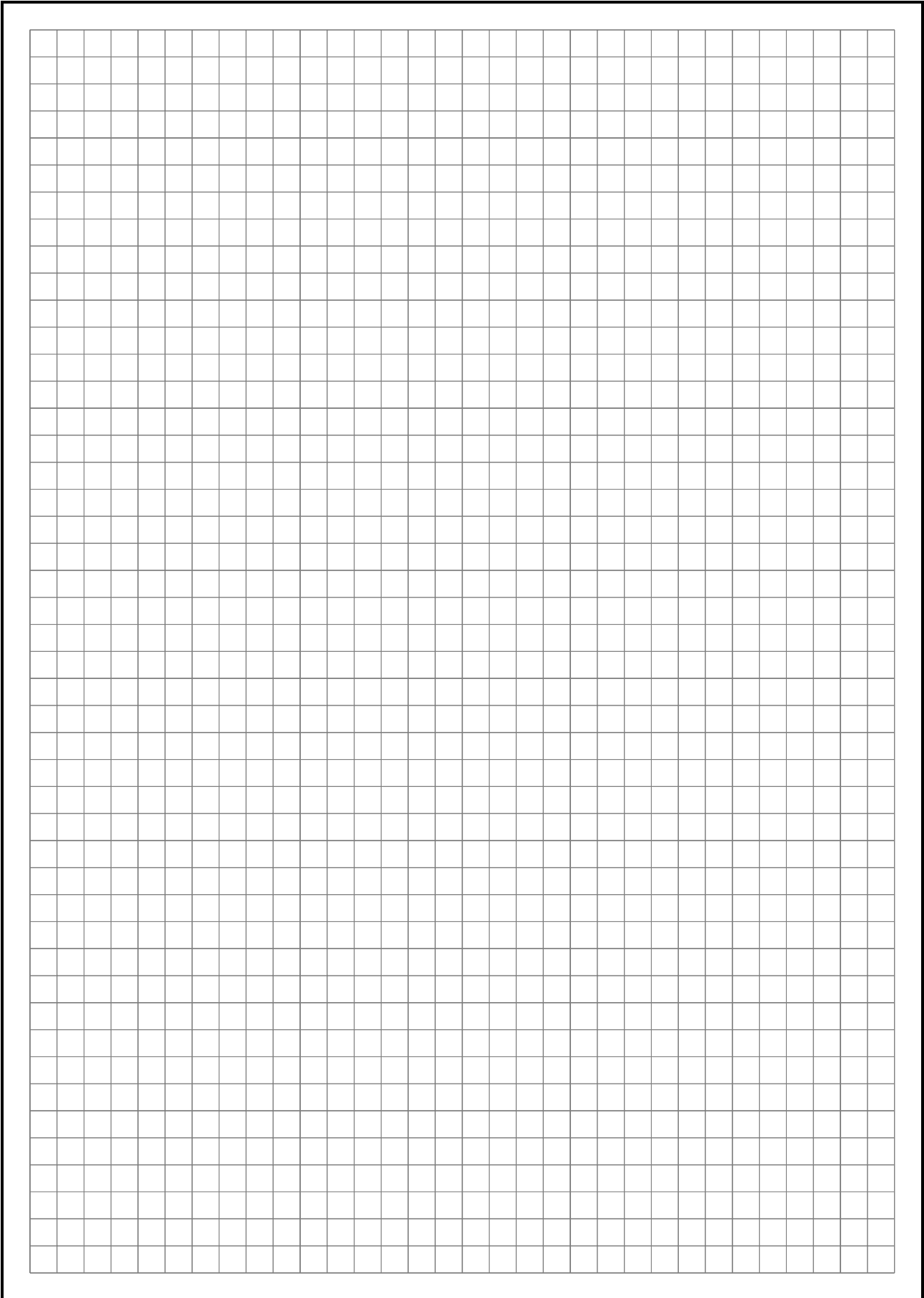
1

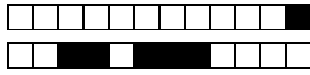
Réservé à l'enseignant(e)



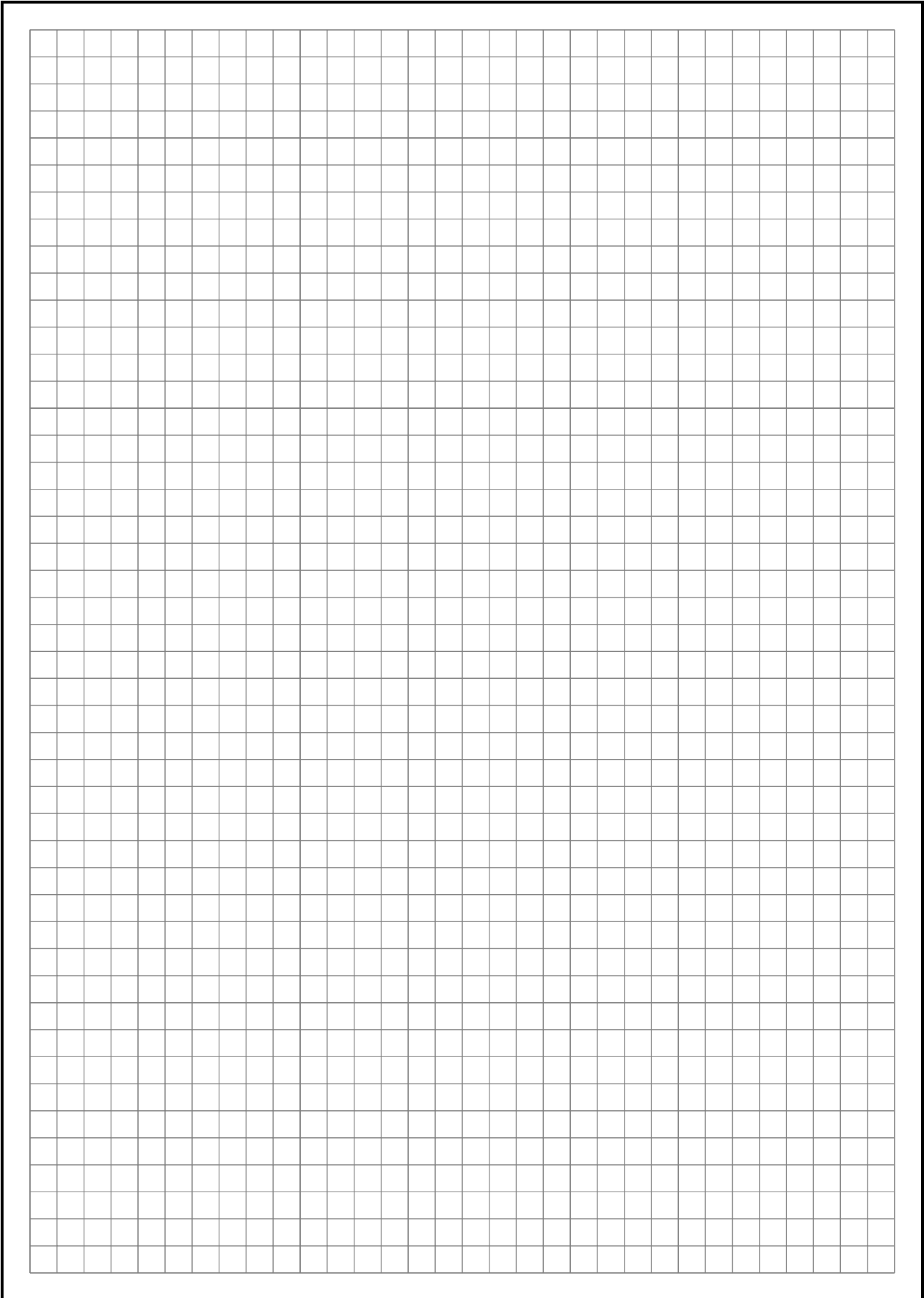


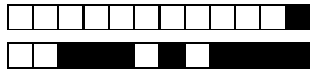
Question 15 : **Champ magnétique à l'intérieur du solénoïde infini** .5 .5 *Réservé à l'enseignant(e)*





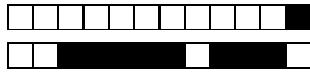
Question 17 : Champ magnétique à l'extérieur du solénoïde infini .5 .5 *Réservé à l'enseignant(e)*





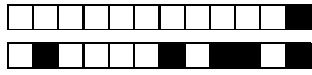
Question 20 :

Spire .5 .5 1 *Réservé à l'enseignant(e)*



Feuille supplémentaire - (indiquer le numéro de la question rédigée)

PROJET



PROJET