

Codez votre numéro d'étudiant ci-dessous  
et écrivez vos nom et prénom

<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2
<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3
<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4
<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5
<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6
<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7
<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8
<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9

exemple : encodage correct du numéro  
étudiant 21407177 (noircir les cases).

<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<input checked="" type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2
<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3
<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4
<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5
<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 6
<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input checked="" type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7	<input checked="" type="checkbox"/> 7	<input checked="" type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 7
<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 8
<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 9

Nom et prénom :

.....

**IMPORTANT** : vous rédigez directement sur le sujet, éventuellement sur les dernières pages.

Les cases à cocher (zones rouges) sont réservées aux correcteurs pour la notation.

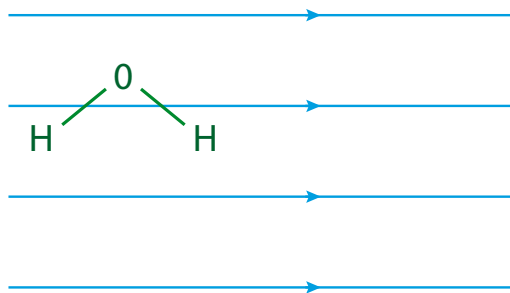
**Justifiez vos réponses et faites des schémas. Durée de l'épreuve : 1h30**

**Calculatrice non autorisées.**

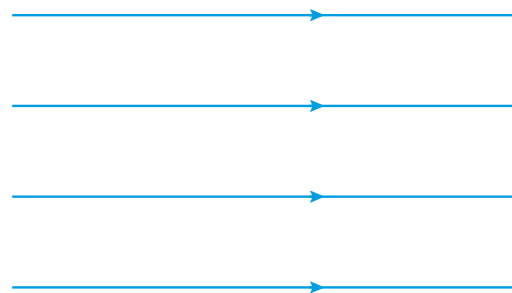
## 1 Questions de cours

Une molécule d'eau est placée sur un plan (le plan du schéma ci-dessous) où règne un champ électrique représenté par ses lignes de champ (en bleu). La molécule est indéformable, elle peut glisser/tourner sur le plan sans frottements, et elle est posée puis libérée sans vitesse initiale.

(1) Situation initiale



(2) Situation finale



**Question 1** Représenter sur le schéma (1) *situation initiale* le vecteur moment dipolaire total  $\vec{p}$  de la molécule d'eau dans sa position initiale.

..... 0 0,5 1 *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

**Question 2** Donner l'expression de l'énergie potentielle  $E_p$  du dipôle  $\vec{p}$  en fonction du champ électrique  $\vec{E}$  dans lequel il est placé. Calculer  $E_p$  dans la position initiale du dipôle. Démontrer, du point de vue énergétique, que dans sa position initiale la molécule d'eau n'est pas dans une position d'équilibre.

.....  0  0,5  1  1,5  2 *cadre réservé au correcteur*

**Question 3** La molécule d'eau subit-elle une rotation ? La molécule d'eau subit-elle une translation ? Justifier vos réponses.

.....  0  0,5  1  1,5  2 *cadre réservé au correcteur*

**Question 4** Dessiner la molécule d'eau et son moment dipolaire  $\vec{p}$  dans sa position d'équilibre (sur le schéma (2) situation finale).

.....  0  0,5  1  1,5  2 *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

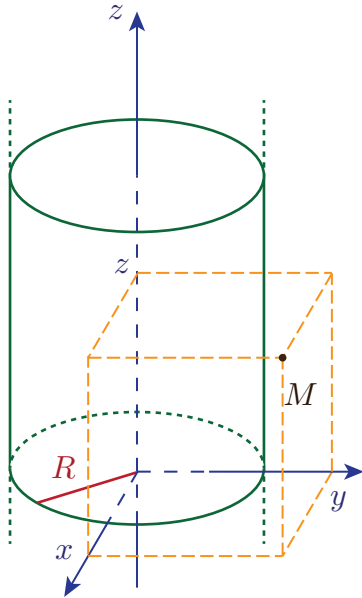
**Question 5** Expliquer pour quelle(s) raison(s) un peigne chargé positivement peut attirer un petit morceau de papier électriquement neutre (détailler les phénomènes physiques, schéma bienvenu).

.....  0  0,5  1  1,5  2  2,5  3 *cadre réservé au correcteur*

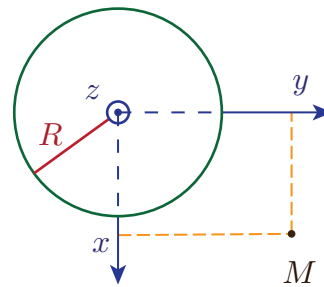
## 2 Problème — Barreau cylindrique chargé en volume

On considère un barreau cylindrique de longueur infinie, d'axe de révolution ( $z$ ), de section circulaire de rayon  $R$ . Une charge positive est répartie uniformément dans tout le volume du barreau, avec la densité volumique de charge  $q_v > 0$ .

(a) schéma perspective



(b) schéma projection



**Question 6** Définir un système de coordonnées cylindriques. Sur les deux schémas (a) et (b) ci-dessus, représenter graphiquement les coordonnées cylindriques du point  $M$  et dessiner les vecteurs unitaires correspondants (au point  $M$ ).

.....  0  0.5  1  1.5  2 *cadre réservé au correcteur*

**Question 7** Définir, dans le système de coordonnées cylindrique, chacun des trois éléments de symétrie de la distribution de charge qui passent par le point  $M$ . Quelles conséquences sur les composantes du champ électrique  $\vec{E}(M)$  au point  $M$ ? Dessiner le vecteur  $\vec{E}(M)$  sur le schéma (b).

.....  0  0.5  1  1.5  2  2.5 *cadre réservé au correcteur*

**Question 8** Déterminer les opérations sur les coordonnées d'espace qui laissent invariante cette distribution de charge. En déduire l'expression la plus simplifiée possible du champ électrique  $\vec{E}(M)$ .

.....  0    0.5    1    1.5    2   *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

**Question 9** Dans les questions suivantes vous utiliserez le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrique  $\vec{E}$  en tout point de l'espace en fonction de  $q_v$ . Ecrire le théorème de Gauss (en précisant les notations) puis justifier votre choix de surface fermée.

.....  0  0,5  1  1,5  2 *cadre réservé au correcteur*

**Question 10** Calculer  $\vec{E}$  en tout point extérieur au cylindre chargé, en détaillant vos calculs (définir toutes les variables introduites, faites des schémas si nécessaire, justifier les étapes de vos calculs...).

.....  0  0.5  1  1.5  2  2.5 *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

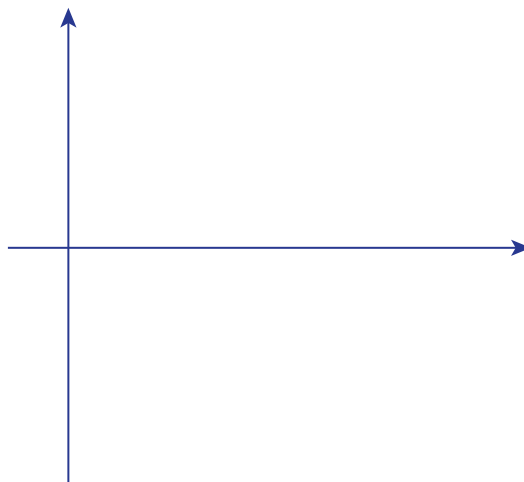
**Question 11** Calculer  $\vec{E}$  en tout point à l'intérieur au cylindre chargé.

.....  0    0.5    1    1.5    2    2.5   *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

**Question 12** Tracer le graphe du module du champ électrique  $E$  en fonction de la coordonnée d'espace adéquate.

.....  0  0,5  1 *cadre réservé au correcteur*



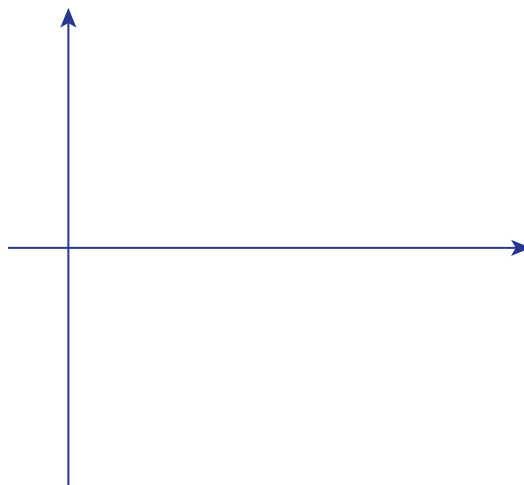
**Question 13** En déduire l'expression du potentiel électrique créé en tout point de l'espace (à l'intérieur et à l'extérieur du cylindre). On choisira comme référence des potentiels  $V = 0$  sur l'axe ( $z$ ) du cylindre chargé. On considèrera que le potentiel électrique est une fonction continue.

.....  0  0.5  1  1.5  2  2.5 *cadre réservé au correcteur*



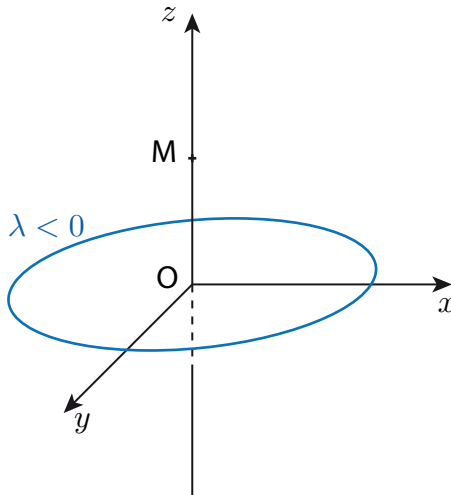
**Question 14** Tracer le graphe du potentiel électrique en fonction de la coordonnée d'espace adéquate.

.....  0  0,5  1 *cadre réservé au correcteur*



### 3 Problème — Distribution circulaire

On considère un cercle de centre  $O$ , de rayon  $R$ , contenu dans le plan  $(xOy)$  et portant la densité de charge  $\lambda < 0$  (linéique et uniforme). Dans tout l'exercice on s'intéresse uniquement aux points situés sur l'axe  $Oz$ .



**Question 15** Lister les éléments de symétrie de cette distribution de charge auxquels appartient un point  $M$  de l'axe  $Oz$ . Justifier et tracer le vecteur champ électrique  $\vec{E}(M)$  sur la figure ci-dessus.

.....  0    0.5    1    1.5   *cadre réservé au correcteur*

**Question 16** Calculer le potentiel électrique  $V(z = 0)$  au centre  $O$  du cercle (on prendra comme référence un potentiel nul à l'infini).

.....  0    0.5    1   *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

**Question 17** Calculer le potentiel électrique  $V(z)$  en tout point M de l'axe Oz (définir toutes les variables introduites, un schéma serait bienvenu).

.....  0  0.5  1  1.5 *cadre réservé au correcteur*

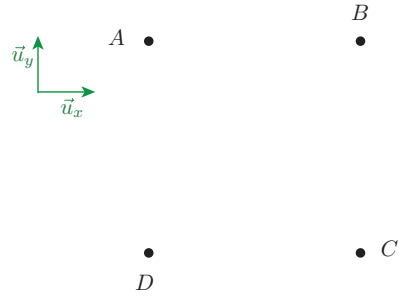
CORRECTION

**Question 18** Déterminez l'expression vectorielle du champ électrique  $\vec{E}(M)$  en tout point M de l'axe Oz (définir toutes les variables introduites, un schéma serait bienvenu).

.....  0  0.5  1  1.5  2 *cadre réservé au correcteur*

## 4 Exercices — Système de 4 charges ponctuelles

On considère 4 charges ponctuelles  $q_A, q_B, q_C$  et  $q_D$  placées aux sommets d'un carré ABCD de côté  $a$ . Le plan est muni d'un repère orthonormé  $(\vec{u}_x, \vec{u}_y)$  (voir schéma ci-contre).



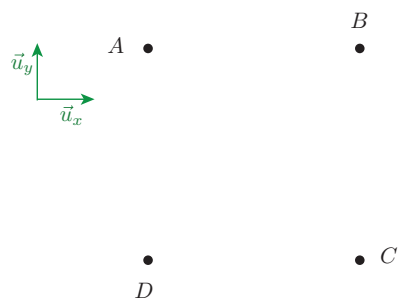
**Question 19** Les charges valent  $q_A = q_C = 0,2 \mu\text{C}$ , et  $q_B = q_D = 0,4 \mu\text{C}$  et  $a = 1 \text{ m}$ . Exprimez le champ électrique et le potentiel au centre  $O$  du carré (sous forme littérale) puis calculez leurs valeurs (approchées, calcul sans machine).

.....  0  1.5  2  2.5  3 *cadre réservé au correcteur*

CORRECTION

**Question 20** Les charges valent  $q_A = -q$  et  $q_B = q_C = q_D = q$ . Déterminer l'expression vectorielle de la force électrostatique résultant des actions des trois charges placées en B, C et D sur la charge placée en A. Tracez la force sur le schéma en bas de page.

.....  0  1.5  2  2.5  3 *cadre réservé au correcteur*



## CORRECTION

Ne rédigez sur cette page que si vous n'avez pas eu assez de place pour répondre dans l'espace réservé à chaque question sur le sujet.

## CORRECTION

Ne rédigez sur cette page que si vous n'avez pas eu assez de place pour répondre dans l'espace réservé à chaque question sur le sujet.

**Question 21** Sont totalisés ici les quarts ou demi-points que les correcteurs peuvent ajouter à la notation de certaines questions pour affiner le barème.

.  0  0,25  0,5  0,75  1  1,25  1,5 *cadre réservé au correcteur*