

# DS 1

Lycée Saint Rémi

Vendredi 12 septembre 2025

---

## PHYSIQUE-CHIMIE MPSI

---

DUREE DE L'EPREUVE : 4h00

---

**L'usage de la calculatrice graphique est AUTORISE.**

**Ce sujet comporte 5 exercices présentés sur 9 pages et 1 page d'annexe**

**Seule l'annexe EST A RENDRE AVEC LA COPIE,**  
même si elle n'est pas complétée.

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Exercice 1 : Détermination de la teneur en élément azote d'un engrais ..... | p2  |
| Exercice 2 : Structures électroniques .....                                 | p4  |
| Exercice 3 : Jeu du boulet.....                                             | p5  |
| Exercice 4 : Modélisation d'un détecteur capacitif d'humidité .....         | p7  |
| Exercice 5 : Expression de la vitesse de la lumière .....                   | p10 |

| Barème | Exercice 1 | Exercice 2 | Exercice 3 | Exercice 4 | Exercice 5 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|
| / 100  | 25         | 10         | 25         | 25         | 15         |

## EXERCICE I. Détermination de la teneur en élément azote d'un engrais

L'ammonitrate est un engrais azoté solide, bon marché, très utilisé dans l'agriculture. Il est vendu par sac de 500 kg et contient du nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_{3(s)}$ ). Sur le sac, on peut lire « pourcentage en masse de l'élément azote N 34,4% ».

Afin de vérifier l'indication du fabricant, on dose les ions ammonium  $\text{NH}_4^+$  présents dans l'engrais à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$ ).

### Données :

Couples acide/base :  $\text{NH}_4^+_{(aq)} / \text{NH}_{3(aq)}$   
 $\text{H}_2\text{O}_{(l)} / \text{HO}^-_{(aq)}$

Produit ionique de l'eau :  $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$  dans les conditions de l'expérience.

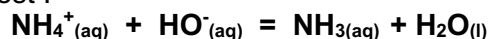
Masse molaire en  $\text{g.mol}^{-1}$  : Azote N : 14 ; Oxygène O : 16 ; Hydrogène H : 1

Le nitrate d'ammonium est très soluble dans l'eau, sa dissolution dans l'eau est totale selon la réaction :



### 1. Etude de la réaction de titrage

L'équation support de titrage est :



1.1 L'ion ammonium  $\text{NH}_4^+_{(aq)}$  est-il un acide ou une base selon Brönsted ? Justifier la réponse.

1.2 On introduit dans un bécher un volume  $v = 20,0 \text{ mL}$  d'une solution contenant des ions ammonium à la concentration molaire apportée  $C = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$  et un volume  $v_1 = 10,0 \text{ mL}$  de solution d'hydroxyde de sodium à la concentration molaire apportée  $C_1 = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$ . Le pH de la solution est 9,2.

1.2.1 Compléter, sans valeur numérique, le tableau d'avancement se trouvant **en annexe, à rendre avec la copie**.

1.2.2 Calculer les quantités de matière des réactifs initialement introduites dans le bécher.

1.2.3 À partir de la mesure du pH, déterminer la quantité en ions hydroxyde à l'état final. Montrer que l'avancement final de la réaction  $x_f$  vaut  $1,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

1.2.4 Calculer la valeur de l'avancement maximal de la réaction  $x_{\text{max}}$ .

1.2.5 Que peut-on dire de la transformation ?

### 2 Titrage pH-métrique

Une solution d'engrais S est obtenue en dissolvant  $m = 6,0 \text{ g}$  d'engrais dans une fiole jaugée de volume  $V = 250 \text{ mL}$ . On prépare ensuite les deux béchers  $B_1$  et  $B_2$  suivants :

| Bécher                           | $B_1$ | $B_2$ |
|----------------------------------|-------|-------|
| Volume de S (mL).                | 10    | 10    |
| Volume d'eau déminéralisée (mL)  | 0     | 290   |
| Volume total de la solution (ml) | 10    | 300   |

Les solutions contenues dans ces béchers sont titrées par une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$ ) à la concentration molaire apportée  $C_B = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ . On obtient les courbes  $\text{pH} = f(V_B)$  se trouvant **en annexe à rendre avec la copie**.

**2.1** Schématiser et légender le montage permettant de réaliser un titrage pH-métrique.

**2.2** Détermination du point équivalent.

**2.2.1** Parmi les deux courbes se trouvant en annexe, quelle est celle qui permet de déterminer les coordonnées du point d'équivalence avec le plus de précision ? Justifier le choix de la courbe.

**2.2.2** Déterminer graphiquement les coordonnées du point équivalent sur la courbe choisie.

**2.2.3** L'ajout d'eau déminéralisée a-t-il une influence sur le volume versé à l'équivalence ? Expliquer.

**2.3** Quelle autre méthode, plus précise, peut-on utiliser pour déterminer le point d'équivalence ?

### **3. Détermination du pourcentage massique en élément azote dans l'engrais.**

**3.1** Définir l'équivalence d'un dosage.

**3.2** Quelles sont les espèces chimiques présentes dans le mélange réactionnel à l'équivalence ? Justifier le pH basique de la solution en ce point.

**3.3** En vous aidant, éventuellement, d'un tableau descriptif de l'évolution de la réaction, déterminer la relation entre la quantité de matière d'ions ammonium dosées  $n_0(\text{NH}_4^+)$  et la quantité d'ions hydroxyde versés à l'équivalence  $n_e(\text{HO}^-)$ .

**3.4.** En déduire la valeur de  $n_0(\text{NH}_4^+)$ .

**3.5** Quelle quantité de matière d'ions ammonium  $n(\text{NH}_4^+)$  a-t-on dans la fiole jaugée de 250 mL ? En déduire la quantité de nitrate d'ammonium présente dans cette fiole.

**3.6** Quelle masse d'azote y a-t-il dans une mole de nitrate d'ammonium ? En déduire la masse d'azote présente dans l'échantillon.

**3.7** Le pourcentage massique en élément azote est le rapport entre la masse d'azote présente dans l'échantillon et la masse de l'échantillon. Calculer le pourcentage massique en azote de l'échantillon. Le comparer à celui fourni par le fabricant et conclure.

## EXERCICE II . Structures électroniques

1. Déterminer les configurations électroniques dans leur état fondamental des atomes de :

Phosphore (P) ( $Z = 15$ ) ; Vanadium (V) ( $Z = 23$ ) ; Astate (At) ( $Z = 85$ )

2. Quels sont les électrons de valence de ces atomes ?

3. En déduire leur position dans la classification périodique

## EXERCICE II. Jeu du boulet

Le jeu schématisé ci-dessous consiste à placer un boulet sur un plan incliné de telle façon qu'il atteigne la cible.

Le boulet est tout d'abord lâché en A sans vitesse initiale.

Le système étudié est le boulet que l'on assimile à un point.

Toute l'étude est dans un référentiel galiléen.

On néglige les frottements dans tout l'exercice.

Données :

$$\alpha = 30^\circ$$

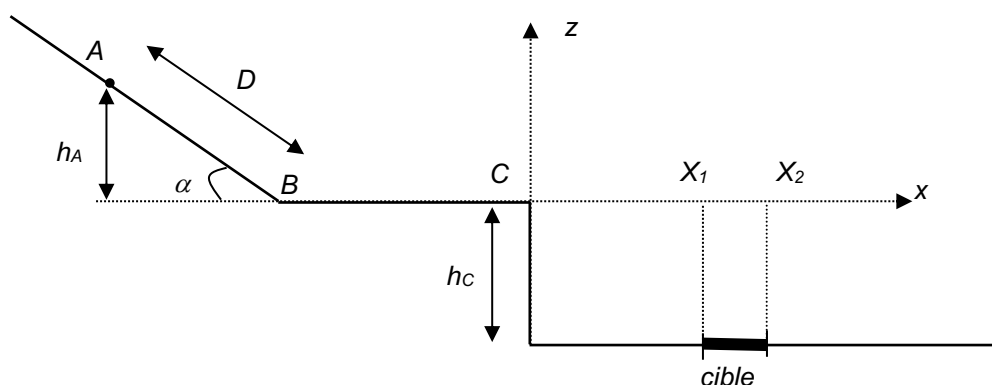
$$D = AB = 0,50 \text{ m}$$

$$L = BC = 0,20 \text{ m}$$

$$h_C = 0,40 \text{ m}$$

$$m = 10 \text{ g}$$

$$g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$$



### 1. ÉTUDE DU MOUVEMENT DU BOULET ENTRE A ET B.

**1.1.** Le système étudié est le boulet une fois lâché en A. Faire l'inventaire des forces extérieures agissant sur le boulet.

Représenter ces forces sur un schéma sans considération d'échelle.

**1.2.** On choisit l'altitude du point C comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur :  $E_{PP} = 0$  pour  $z_C = 0$ .

**1.2.1.** Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur au point A et vérifier qu'elle vaut  $E_{PP}(A) = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ .

**1.2.2.** En déduire l'expression puis la valeur de l'énergie mécanique du système au point A.

**1.2.3.** En déduire la valeur de l'énergie mécanique du système au point B. Justifier la réponse.

**1.3.** Montrer que l'expression de la vitesse au point B est :

$$v_B = \sqrt{2gD \sin \alpha}$$

## **2. ÉTUDE DE LA CHUTE DU BOULET APRÈS LE POINT C.**

On étudie le mouvement du centre d'inertie G du boulet après le point C.

L'origine des temps est prise lorsque le boulet est en C.

Le mouvement étant rectiligne et uniforme entre B et C, la vitesse en C est la même qu'en B :

$$v_C = v_B = 2,2 \text{ m.s}^{-1}$$

**2.1.** On précise que l'action de l'air est négligée.

**2.1.1.** Énoncer la deuxième loi de Newton.

**2.1.2.** Appliquer cette loi au boulet une fois qu'il a quitté le point C.

**2.1.3.** Déterminer l'expression des composantes du vecteur accélération en projetant la deuxième loi de Newton dans le repère Cxz (voir figure).

**2.2.** On rappelle que la valeur de la vitesse au point C est  $v_C = 2,2 \text{ m.s}^{-1}$  et on précise que le vecteur vitesse au point C a une direction horizontale.

**2.2.1.** Déterminer l'expression des composantes du vecteur vitesse dans le repère Cxz.

L'expression des composantes du vecteur position dans le repère Cxz est :

$$\overrightarrow{CG} = \begin{cases} x = (\sqrt{2gD \sin \alpha})t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

**2.2.2.** En déduire l'équation de la trajectoire donnant l'expression de z en fonction de x.

**2.3.** On veut déterminer si le boulet atteint la cible E dont l'abscisse est comprise entre  $X_1 = 0,55 \text{ m}$  et  $X_2 = 0,60 \text{ m}$ .

**2.3.1.** Calculer le temps nécessaire pour que le boulet atteigne le sol.

**2.3.2.** En déduire l'abscisse  $X_f$  du boulet quand il touche le sol. La cible est-elle atteinte ?

**2.4.** Quelle distance D faudrait-il choisir pour atteindre la cible à l'abscisse  $X_f = 0,57 \text{ m}$  ? (la durée de chute étant la même).

### EXERCICE III. Modélisation d'un détecteur capacitif d'humidité

Correctement calibré, un système d'arrosage automatique de végétaux permet un arrosage homogène, à un moment opportun et sans gaspillage d'eau. À cet effet, il peut être déclenché grâce à l'utilisation d'un détecteur capacitif d'humidité du sol.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une modélisation simple d'un détecteur capacitif d'humidité puis de l'utiliser pour illustrer le principe d'une mesure de la teneur en eau d'un sol.

Données :

- dans cet exercice, le détecteur capacitif d'humidité est modélisé par un condensateur plan dont la capacité  $C$  varie en fonction de l'humidité du sol ;
- le condensateur est constitué de deux plaques (ou armatures) métalliques de surface  $S$  séparées d'une distance  $d$  plantées dans un sol de permittivité  $\varepsilon$  :

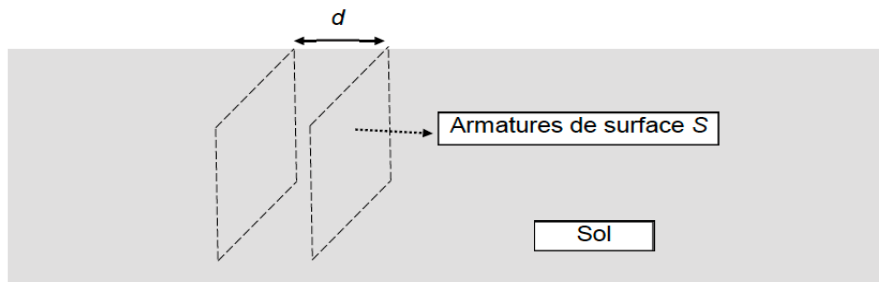
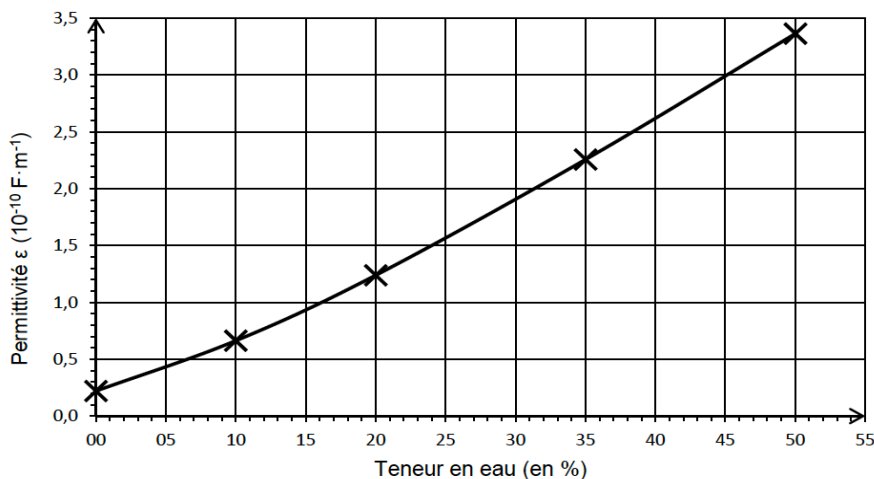


Figure 1. Schéma simplifié du condensateur d'un détecteur d'humidité

- la capacité  $C$  (en farad  $F$ ) du condensateur s'exprime en fonction de la surface  $S$  (en  $m^2$ ) de ses armatures, de la distance  $d$  (en  $m$ ) qui les sépare et d'un paramètre caractéristique du sol appelé permittivité  $\varepsilon$  (en  $F \cdot m^{-1}$ ) du sol par la relation :

$$C = \frac{\varepsilon S}{d}$$

- on appelle « teneur en eau » le pourcentage volumique d'eau dans le sol ;
- on présente la courbe de la permittivité  $\varepsilon$  d'un sol argileux en fonction de sa teneur en eau



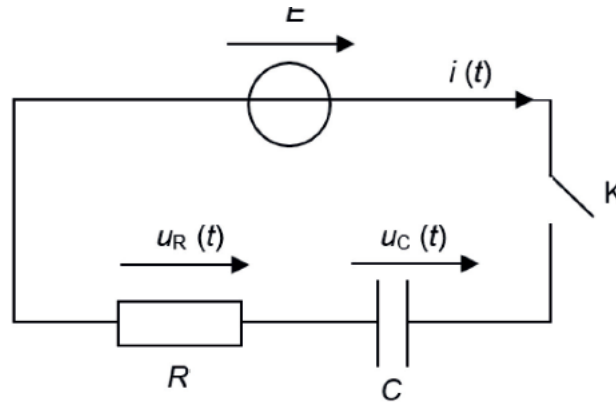
D'après [www.hal.laas.fr](http://www.hal.laas.fr)

Figure 2. Permittivité du sol en fonction de la teneur en eau du sol

## 1. Modélisation de la charge du condensateur

1. Prévoir qualitativement le sens de variation de la capacité  $C$  du détecteur capacitif d'humidité quand la teneur en eau d'un sol argileux augmente.

Le condensateur de capacité  $C$ , modélisant le détecteur, est branché en série avec un générateur délivrant une tension constante  $E$ , un interrupteur  $K$  et un conducteur ohmique de résistance  $R$ . Le circuit ainsi constitué est modélisé par un circuit de type RC représenté ci-dessous :



À la date  $t = 0$  s, le condensateur est déchargé et on ferme l'interrupteur. On souhaite établir l'expression de la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur.

2. Montrer que la tension aux bornes du condensateur obéit à l'équation différentielle ci-dessous. Exprimer littéralement le temps caractéristique  $\tau$  du circuit en fonction de  $R$  et de  $C$ .

$$\tau \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

3. Vérifier que la fonction

$$u_C(t) = E \times (1 - e^{-t/\tau})$$

est solution de cette équation différentielle et qu'elle satisfait à la condition imposée à la date  $t = 0$  s.

4. Montrer que la valeur de  $u_C$  à l'instant  $\tau$  est approximativement :

$$u_C(\tau) = 0,63 \times E$$

## 2. Modélisation de la mesure de la teneur en eau d'un sol argileux

La mesure du temps caractéristique du circuit RC permet d'accéder à la valeur de la teneur en eau du sol. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un microcontrôleur connecté au circuit RC décrit ci-dessus. Il permet entre autres :

- de commander des alternances charge – décharge du condensateur ;
- de mesurer la tension aux bornes du condensateur ;
- d'afficher, après calcul, la valeur de la teneur en eau.

Pour déterminer le temps caractéristique du circuit RC, on enregistre l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur à l'aide du microcontrôleur ; celui-ci relève 52 000 valeurs de la tension par seconde.

Pour que la mesure soit suffisamment précise, on doit disposer d'au moins 10 valeurs de tension aux bornes du condensateur avant d'atteindre le temps caractéristique du circuit RC.

5. Montrer que le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC doit être au minimum de l'ordre de 200  $\mu$ s.

Le condensateur possède les caractéristiques géométriques suivantes :  $S = 1,0 \times 10^{-1} \text{ m}^2$  et  $d = 1,0 \times 10^{-2} \text{ m}$ . La valeur de la résistance  $R$  du circuit est  $R = 2,2 \times 10^5 \Omega$ .

6. À l'aide de la contrainte sur le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC, déterminer la teneur minimale en eau d'un sol argileux qu'il est possible de mesurer avec ce dispositif.

*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.*

Le microcontrôleur réalise un traitement automatique des données s'appuyant sur un programme, écrit en "langage Python, dont une partie est donnée ci-dessous :

```
1 # Arrosage automatique pour un sol argileux
2 E = 5.0
3 tension = 0                                # définition de la tension aux bornes du condensateur
4 t_i = time.time()                          # définition de l'instant initial

5 while tension <                 # boucle et condition
6 float tension = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0)    # transforme la mesure du microcontrôleur en tension

7 t_f = time.time()                          # mesure de l'instant final
8 tau = t_f - t_i
9 print("valeur de tau en ms :", tau)        # affichage d'une valeur sur l'écran
```

La commande « while » associée à une condition permet de créer une boucle qui répète la liste d'instructions qui suit, tant que la condition est satisfaite.

7. Indiquer l'objectif final de cet extrait de programme.

8. Recopier la ligne 5 du programme sur la copie et compléter la condition sur la valeur de la tension aux bornes du condensateur.

Le détecteur est inséré dans un sol argileux. Dans ce type de sol, la teneur en eau doit être comprise entre 24 % et 38 % pour qu'une plante puisse y avoir une croissance normale.

Le programme renvoie le résultat suivant :

valeur de tau en ms : 0,28676887987

9. Déterminer si la teneur en eau mesurée dans ce sol argileux est suffisante pour y assurer une croissance normale d'une plante.

## EXERCICE V. Expression de la vitesse de la lumière

On rappelle que par définition, l'intensité  $i$  du courant électrique est liée à la charge  $\delta q$  traversant un conducteur pendant un intervalle de temps  $dt$  par la relation :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

1. La force s'exerçant entre deux particules chargées de charges  $q_1$  et  $q_2$  distantes de  $r$  a pour expression :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

En déduire la dimension de la permittivité du vide  $\epsilon_0$  en fonction des dimensions de base

2. La force de Lorentz subie par une charge  $q$  en mouvement à une vitesse  $v$  dans un champ magnétique de norme  $B$  est :

$$F = qvB$$

En déduire la dimension de  $B$

3. Le champ magnétique créé à une distance  $R$  par un conducteur rectiligne parcouru par un courant d'intensité  $T$  se calcule par la relation :

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

où  $\mu_0$  est une constante fondamentale appelé perméabilité du vide. En déduire la dimension de  $\mu_0$

4. Les ondes électromagnétiques (et en particulier la lumière) se propagent dans le vide avec une célérité  $c$  vérifiant :

$$c^n = \epsilon_0 \mu_0$$

Déterminer  $n$  en utilisant vos réponses aux questions précédentes

## ANNEXE

**NOM :**

**PRENOM :**

### Exercice 1

| Équation chimique                          |                  | $\text{NH}_4^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})} = \text{NH}_{3(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ |  |  |  |
|--------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| État du système                            | Avancement (mol) | Quantités de matière (mol)                                                                                             |  |  |  |
| État initial                               | 0                |                                                                                                                        |  |  |  |
| État au cours de la transformation         | x                |                                                                                                                        |  |  |  |
| État final si la transformation est totale | $x_{\text{max}}$ |                                                                                                                        |  |  |  |
| État final réel                            | $x_f$            |                                                                                                                        |  |  |  |

