



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DE L'AGRO-ALIMENTAIRE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**CONCOURS D'ACCÈS À LA DEUXIÈME CATÉGORIE DES EMPLOIS DE PROFESSEUR
DES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT AGRICOLE PRIVÉ**

Concours : **EXTERNE**

Section : **PHYSIQUE CHIMIE**

SESSION 2026

ÉPREUVE ÉCRITE D'ADMISSIBILITÉ N°1

Épreuve Disciplinaire

(Coefficient : 2 – Durée : 5 heures)

Matériel(s) et documents(s) autorisé(s) : calculatrice

Ce sujet comporte 18 pages y compris celle-ci.

Vérifiez que l'exemplaire qui vous a été remis est complet. Si ce n'est pas le cas, signalez-le aussitôt.

L'annexe est à rendre avec la copie.

SUJET :

Sciences physiques et chimiques au service de l'agriculture

La physique et la chimie sont deux disciplines fondamentales qui apportent des outils et des connaissances indispensables au développement de l'agriculture moderne. La chimie contribue à concevoir des solutions pour combattre les bioagresseurs, renforcer la fertilité des sols et développer des pratiques agricoles plus durables via la chimie verte.

La physique intervient, de son côté, dans la compréhension et la gestion des conditions environnementales et climatiques nécessaires à la croissance des cultures, comme dans les serres automatisées ou l'utilisation de drones et de capteurs pour surveiller l'état des cultures.

La maîtrise des processus physiques et chimiques permet donc de répondre aux enjeux de durabilité, de sécurité alimentaire et d'adaptation aux conditions climatiques changeantes.

Ce sujet explore de façon non exhaustive ces domaines de la physique et de la chimie au service de l'agriculture :

A) Prévention et traitements des sols

Partie 1 : Traitement d'une eau chargée en cations métalliques

Partie 2 : Chaulage des sols

Partie 3 : Protection des cultures

Partie 4 : Utilisation de drones en viticulture

B) Prévention des stress hydrique et thermique pour les cultures

Partie 5 : Capteur de température

Partie 6 : Étude d'un capteur capacitif d'une cuve à eau destinée à l'irrigation

Les données sont regroupées en fin de sujet en pages 15 et 16.

Certaines questions, repérées par une barre en marge comme ici, ne sont pas guidées et demandent de l'initiative de la part du candidat. Les pistes de recherche doivent être consignées par le candidat sur sa copie ; si elles sont pertinentes, elles seront valorisées. Le barème tient compte du temps nécessaire pour explorer ces pistes et élaborer un raisonnement, il valorise ces questions de façon très significative.

N.B. : si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

- 1. N.B. : conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.**

Début du sujet en page 3

Tourner SVP →

A. Prévention et traitement des sols

Les données utiles au traitement de cette partie sont disponibles en fin de sujet en pages 15 et 16.

Partie 1 : Traitement d'une eau chargée en cations métalliques

Les micro-organismes réducteurs de sulfates (ou sulfato-réducteurs) existent depuis 3,5 milliards d'années et sont considérés comme l'une des plus anciennes formes de micro-organismes. Ils contribuent au cycle du soufre quasiment depuis l'apparition de la vie sur Terre. De nos jours, les bactéries sulfato-réductrices peuvent être utilisées pour éliminer des pollutions par des cations métalliques utilisés en agriculture ou dans l'industrie minière. Cette solution est efficace, écologique et moins coûteuse que les techniques chimiques utilisées pour détoxifier les milieux pollués.

L'élément soufre est présent dans différentes espèces issues de la Nature. On le trouve dans les solides ioniques sous forme notamment d'ions sulfate SO_4^{2-} , très abondants dans les sols et nécessaires à la croissance des plantes.

1. Rappeler la signification de chaque terme dans la représentation symbolique ${}_Z^AX$ d'un élément.
2. Représenter le schéma de Lewis de l'ion sulfate SO_4^{2-} et indiquer, en le justifiant, sa géométrie d'après le modèle VSEPR.
3. Associer sur le diagramme potentiel-pH donné en **annexe page 17 à rendre avec la copie**, chacun des domaines notés de **A** à **F** à l'une des six espèces chimiques contenant l'élément soufre prises en compte : $\text{HSO}_4^-(\text{aq})$, $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$, $\text{S}(\text{s})$, $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, $\text{HS}^-(\text{aq})$, $\text{S}^{2-}(\text{aq})$. On justifiera la réponse à l'aide d'un calcul des nombres d'oxydation du soufre et de l'étude des propriétés acido-basiques des espèces considérées.
4. Écrire la demi-équation électronique relative au couple $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})/\text{S}^{2-}(\text{aq})$ en milieu basique.

L'expression du potentiel d'oxydoréduction du couple $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})/\text{S}^{2-}(\text{aq})$ à 298 K s'écrit :

$$E_{\text{SO}_4^{2-}/\text{S}^{2-}} = E_{\text{SO}_4^{2-}/\text{S}^{2-}}^\circ + \frac{0,06}{8} \log \left(\frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{S}^{2-}]} \right) - 0,06 \text{ pH}$$

5. En déduire que la valeur du coefficient directeur de la frontière séparant les espèces $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ et $\text{S}^{2-}(\text{aq})$ est égale à $-0,06 \text{ V}$. La vérifier graphiquement.
6. Tracer, sur ce même diagramme **en annexe page 17 à rendre avec la copie**, les domaines des espèces des couples de l'eau : $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ et $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{H}_2(\text{g})$ et en déduire que toutes les espèces chimiques contenant l'élément soufre ici considérées sont stables dans l'eau. On supposera que $P_{\text{H}_2} = P_{\text{O}_2} = P^\circ = 1 \text{ bar}$ et que la température est égale à 298 K.
7. Déterminer graphiquement les valeurs des constantes d'acidité K_{a1} et K_{a2} associées respectivement aux couples $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})/\text{HS}^-(\text{aq})$ et $\text{HS}^-(\text{aq})/\text{S}^{2-}(\text{aq})$ à l'aide du diagramme potentiel-pH donné en **annexe page 17**.

Une eau de drainage issue d'un sol agricole est très chargée en ions zinc Zn^{2+} provenant de résidus de traitements phytosanitaires. On décide de la traiter à l'aide de bactéries sulfato-réductrices (bactéries réductrices de sulfates) qui transforment les ions sulfate $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ présents dans l'eau en sulfure d'hydrogène $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ (ou en ses bases conjuguées $\text{HS}^-(\text{aq})$ ou $\text{S}^{2-}(\text{aq})$ selon la valeur du pH). En présence de ces bactéries, les ions Zn^{2+} peuvent alors précipiter sous forme de sulfure de zinc $\text{ZnS}(\text{s})$, peu soluble dans l'eau.

On admettra que la présence des micro-organismes sulfato-réducteurs et leur activité dans la solution aqueuse permet de maintenir une concentration en quantité de matière de sulfure d'hydrogène H_2S constante et égale à $C = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données :

- pK_s du sulfure de zinc ZnS(s) à 298 K : $pK_s = 24,7$
 - Concentration initiale en ions Zn^{2+} dans l'eau : $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
8. Établir la configuration électronique de l'ion Zn^{2+} à l'état fondamental.
 9. Donner l'expression littérale du produit de solubilité du sulfure de zinc ZnS(s) en fonction des concentrations en quantité de matière en ions $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{S}^{2-}(\text{aq})$ et de la concentration standard $C^\circ = 1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
 10. En déduire la valeur de la concentration en quantité de matière minimale en ions sulfure $\text{S}^{2-}(\text{aq})$ qui permet d'observer l'apparition du précipité de sulfure de zinc.
 11. Montrer que, dans les conditions de l'expérience, la concentration en quantité de matière en ions sulfure $\text{S}^{2-}(\text{aq})$ s'écrit : $[\text{S}^{2-}] = K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot C \cdot 10^{2\text{pH}}$.
 12. Montrer, en supposant que la valeur du pH de l'eau de drainage est égale à 8,0, que le précipité de sulfure de zinc ZnS est présent.

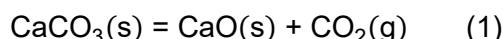
Une filtration ultérieure permet ensuite d'éliminer le précipité de sulfure de zinc de l'eau de drainage.

Partie 2 : Chaulage des sols

Certains sols, tels que les limons, le sable, ainsi que le grès et certains granites sont facilement lessivables, ce qui entraîne leur acidification. Lorsque le sol est trop acide, les éléments nutritifs comme le potassium, le phosphore ainsi que l'azote deviennent inutilisables par les plantes.

Le chaulage consiste à apporter des amendements ou substances basiques, généralement composés de calcium, afin de réduire l'acidité du sol et favoriser la disponibilité des oligo-éléments pour les plantes.

L'espèce chimique contenant l'élément calcium la plus abondante de la croûte terrestre est le carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(\text{s})$, à partir de laquelle on peut obtenir l'oxyde de calcium (ou chaux vive) CaO(s) par calcination, selon la transformation chimique modélisée par l'équation de réaction suivante :



On se place dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.

13. Calculer, à l'aide des grandeurs fournies ci-après, l'enthalpie libre standard $\Delta_r G^\circ$ la réaction de calcination du carbonate de calcium à la température de 1100 K. En déduire la valeur numérique de la constante thermodynamique d'équilibre K° à la température de 1100 K.
14. Donner l'expression du quotient de réaction Q_r associée à la réaction (1).
15. Proposer des conditions opératoires (de température et de pression) permettant d'optimiser la calcination du carbonate de calcium, en justifiant la réponse à l'aide des lois de modération.

Dans des régions agricoles où le chaulage est fréquent, il peut y avoir une augmentation locale de la dureté de l'eau. Une eau est qualifiée de dure si elle est riche en ions calcium Ca^{2+} et/ou magnésium Mg^{2+} .

On prélève un volume $V_0 = 20,0$ mL d'une solution de carbonate de calcium ($\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$, $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$) assimilée à une eau de drainage dont on souhaite déterminer la dureté en mesurant la valeur de sa concentration en quantité de matière en ions calcium $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$. Les ions carbonate CO_3^{2-} de cette solution aqueuse sont dosés par titrage acido-basique à l'aide d'une solution aqueuse d'acide nitrique ($\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$, $\text{NO}_3^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière C_1 telle que $C_1 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le titrage est suivi par conductimétrie.

16. Faire un schéma légendé du montage nécessaire pour réaliser ce titrage.

L'ion carbonate CO_3^{2-} est la base conjuguée d'un diacide.

17. Écrire les deux couples acide-base correspondant à ce diacide et les deux demi-équations associées.

On fournit, en **Figure 1**, la courbe du suivi conductimétrique obtenue au cours du titrage de la solution de carbonate de calcium par la solution d'acide nitrique, où V correspond au volume d'acide nitrique versé.

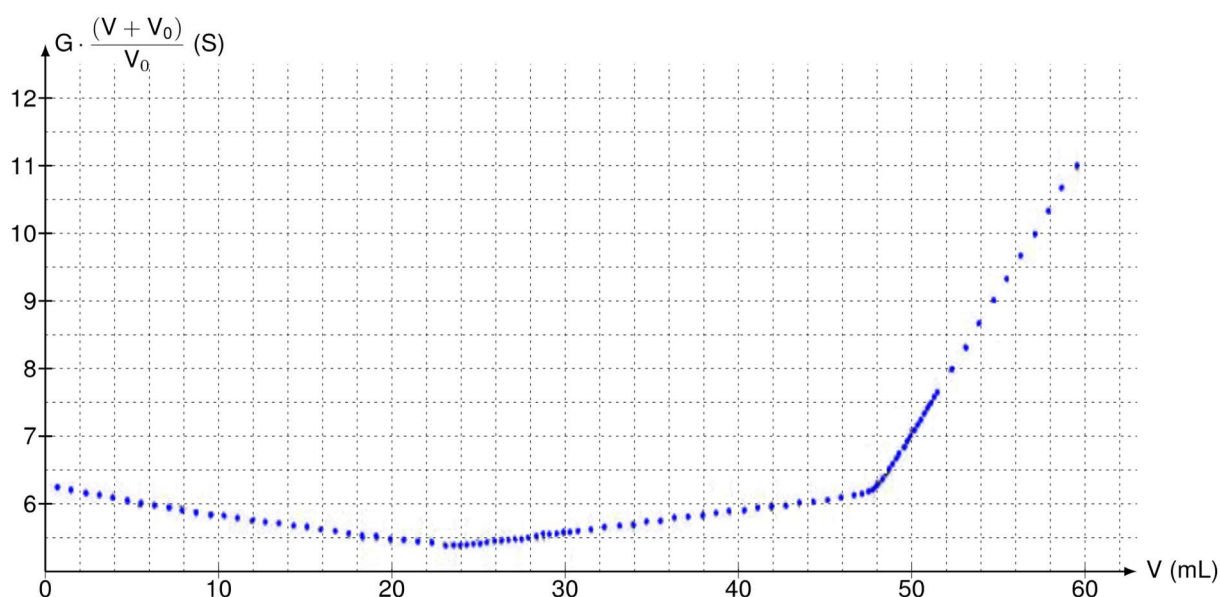


Figure 1 - Évolution de la conductance G corrigée en fonction du volume

Données : Conductivités molaires ioniques λ_i° à 298 K

Ion	H_3O^+	NO_3^-	Ca^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-
λ_i° ($\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$)	35,0	7,14	11,9	13,9	4,45

18. Écrire les deux équations de réaction qui ont lieu au cours du titrage et préciser les portions de la courbe (plages de volume) auxquelles elles correspondent.

19. Interpréter l'allure de la courbe de titrage de la **figure 1** à l'aide des valeurs des conductivités molaires ioniques.

La dureté de l'eau est mesurée par son titre hydrotimétrique TH , exprimé en degré français ($^\circ\text{f}$). Cet indicateur permet de classer l'eau de « très douce » à « très dure ».

TH ($^\circ\text{f}$)	0 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 40	supérieur à 40
Classement	très douce	douce	moyennement dure	dure	très dure

1 degré hydrotimétrique exprimé en degré français (1°f) est égal à une concentration en quantité de matière globale en ions calcium et/ou magnésium de $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour les eaux potables, l'idéal est d'avoir un TH allant de 12 à 15°f. Les eaux sont acceptables jusqu'à 40°f mais au-delà de 45°f leur utilisation devient extrêmement difficile et leur adoucissement doit être envisagé.

20. Déterminer la concentration en quantité de matière en ions calcium Ca^{2+} (aq) de la solution analysée, son titre hydrotimétrique et conclure.

Partie 3 : Protection des cultures

Le pyrèthre de Dalmatie (*Tanacetum cinerariifolium*) est une plante herbacée vivace de la famille des *Asteraceae*, cultivée pour ses fleurs dont on tire une poudre insecticide.

Les fleurs séchées sont pulvérisées et on en extrait la pyrèthrine I, de formule brute $\text{C}_{21}\text{H}_{28}\text{O}_3$ (**Figure 2**). L'insecticide est appliqué sous forme de poudre ou en suspension dans de l'eau ou de l'huile. Biodégradable et photodégradable, on considère que cet insecticide compte parmi les plus sûrs pour un usage dans le domaine alimentaire.

Dans ce problème, nous nous intéressons à la synthèse de la pyrèthrine I et de son synthon A (**Figure 2**).

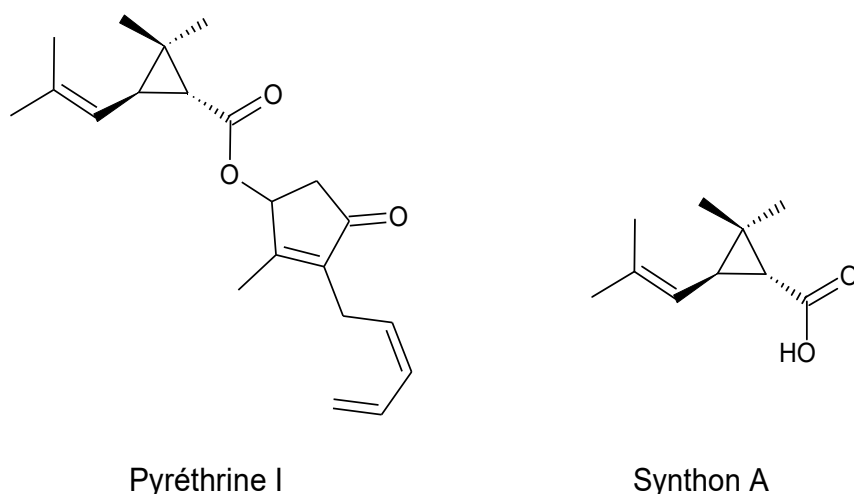


Figure 2 - Formule topologique de la pyrèthrine I et du synthon A

La première partie de cette synthèse est inspirée de celle proposée par J. B. BABLER et A. J. TORTORELLO [*J. Org. Chem.* **1976**, 41, 885].

On se propose, dans un premier temps, d'étudier le passage de l'alcool **1** à l'alcool **3** (**Figure 3**).

La première étape de cette transformation consiste à mettre en présence le réactif **1**, en solution dans le cyclohexane, avec de l'acide 4-méthylbenzènesulfonique (APTS). On adapte ensuite un montage Dean-Stark (**Figure 4**) dont le tube décanteur est initialement rempli de cyclohexane et on ajoute dans le ballon de l'acide éthanoïque afin d'obtenir le composé **2**.

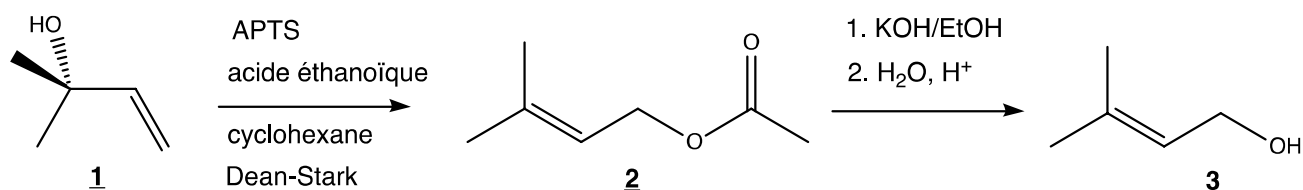


Figure 3 - Préparation de l'alcool **3**

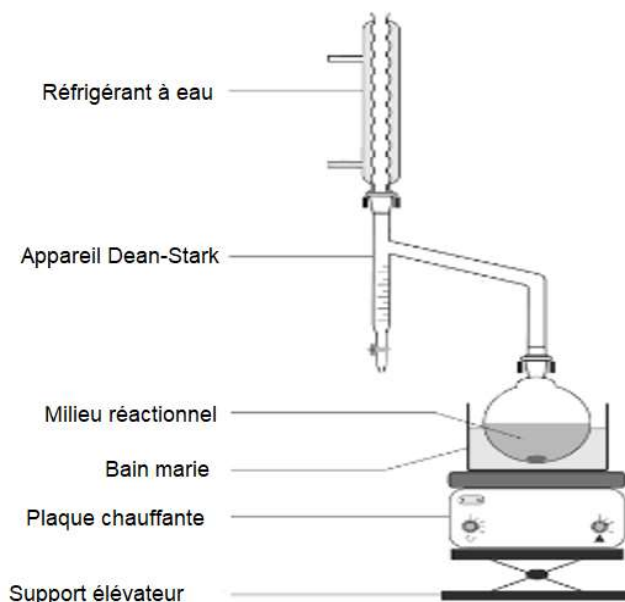


Figure 4 - Montage à reflux avec appareil Dean-Stark

21. Nommer la molécule 1 en nomenclature officielle (IUPAC). Préciser son nombre de stéréoisomères de configuration.
22. Nommer la fonction créée dans la molécule 2.
23. Expliquer le rôle du montage Dean-Stark.

À l'issue du chauffage à reflux dans le Dean-Stark (transformation 1 à 2), on verse le milieu réactionnel dans de l'eau glacée. Une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium est ajoutée à ce mélange jusqu'à neutralisation, puis le contenu de la phase aqueuse est extrait par de l'éthoxyéthane (éther diéthylique). La phase organique est lavée successivement par une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium, puis par une solution aqueuse saturée de chlorure de sodium. La phase organique est enfin séchée sur sulfate de magnésium anhydre puis le solvant est éliminé et le filtrat distillé. On obtient le composé 2.

24. Nommer la verrerie utilisée pour effectuer les lavages de la phase organique.
25. Préciser le rôle du lavage par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium puis par une solution saturée en chlorure de sodium.

Le passage du composé 2 au composé 3 se réalise par chauffage d'une solution de potasse alcoolique contenant le composé 2, suivi d'acidification et d'extraction du contenu de la phase aqueuse. Après distillation, on isole le composé 3.

26. Nommer la transformation chimique ainsi réalisée.
27. Proposer un mécanisme pour l'étape de formation du composé 3 à partir du composé 2.

La deuxième partie de la synthèse nécessite l'emploi d'un organomagnésien (**Figure 5**).

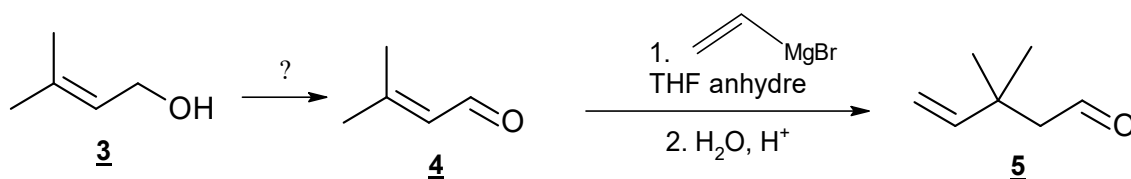


Figure 5 - Conversion de 3 en 5

28. Proposer des conditions opératoires (réactifs et solvant) pour l'obtention de l'espèce **4**.

Lors de l'étape **3** → **4**, au bout de 90 minutes, un prélèvement du milieu réactionnel est effectué pour réaliser le spectre IR ci-dessous.

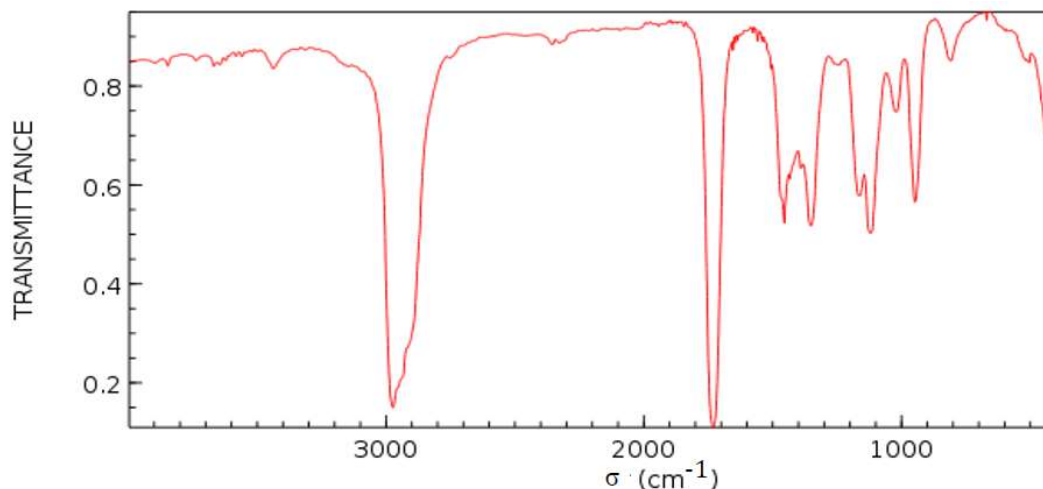


Figure 6 - Spectre infrarouge du milieu réactionnel

29. Justifier si la transformation **3** → **4** est terminée au bout de 90 minutes à l'aide du spectre infrarouge de la **figure 6** et de la table des nombres d'onde située dans les données en fin de sujet.
30. Proposer une équation bilan permettant de synthétiser l'organomagnésien utilisé dans l'étape **4** → **5**.
31. Proposer une forme mésomère de la molécule **4** et identifier les sites électrophiles de cette molécule. Expliquer la formation de la molécule **5** en proposant un mécanisme réactionnel.
32. Un produit secondaire peut aussi se former. Indiquer sa formule semi-développée.

Partie 4 : Utilisation de drones en viticulture

L'utilisation de drones en agriculture présente des avantages significatifs pour résoudre diverses problématiques de manière plus efficace qu'auparavant. Par exemple, dans le domaine de la viticulture, les drones permettent de réduire l'exposition des personnels à des produits phytosanitaires lors de pulvérisation aérienne. Cela est particulièrement utile dans des terrains en forte pente (supérieure à 30 %), où la pulvérisation manuelle s'avère difficile.

Un drone d'une autonomie d'environ 20 minutes et de masse à vide $m_0 = 20$ kg transporte une charge utile d'un volume $V = 20$ L de produit phytosanitaire destiné à être épandu sur la vigne et se déplace à une vitesse $v = 7,0$ km·h⁻¹. La masse volumique ρ du produit phytosanitaire sera prise égale à celle de l'eau.

Le drone est modélisé par un point matériel et soumis à différentes forces lors de son déplacement : le poids $\vec{P}$, la poussée verticale de ses rotors $\vec{T}$ et les frottements de l'air $\vec{f}$, modélisés par une force de frottements quadratiques dont la norme est donnée par : $f = \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$ avec ρ_{air} la masse volumique de l'air, S la surface du drone, C_x le coefficient de trainée et v la vitesse de déplacement du drone. L'étude est réalisée dans le référentiel terrestre supposé galiléen et la température sera considérée constante et égale à $T = 298$ K.

33. Définir un référentiel galiléen. Indiquer deux faits expérimentaux qui prouvent que le référentiel terrestre ne peut pas toujours être considéré comme un référentiel galiléen.

34. Schématiser, sans souci d'échelle, les forces qui s'appliquent sur le drone lors de son décollage strictement vertical.
35. Déterminer la valeur minimale de la force de poussée qui permet le décollage du drone. On précisera l'approximation réalisée pour le calcul.
36. Montrer que la masse volumique de l'air ρ_{air} est égale à $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, en assimilant l'air à un gaz parfait de masse molaire $M_{air} = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ à la température de 298 K et à la pression atmosphérique $P = 1,0 \text{ bar}$.

Au cours d'un vol horizontal à altitude constante, le drone déverse le produit phytosanitaire sur la vigne. On estime qu'un viticulteur peut réaliser l'épandage de $100 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ à raison de 1 h 30 par hectare environ. On rappelle qu'un hectare correspond à $10\,000 \text{ m}^2$.

37. Déterminer l'expression et la valeur de D_m , le débit de masse d'épandage du drone.
38. En déduire l'expression de la masse du drone $m(t)$ au cours du temps.
39. Expliquer, à partir d'un bilan des forces, comment le drone garde une altitude constante si sa masse varie au cours du temps.

Lors de son vol à une altitude de 2,4 m, la liaison radio est rompue entre le poste de commande et le drone. Le drone chute. Lors de sa chute, la pulvérisation s'arrête et sa masse reste constante.

40. Établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse v du drone. Un schéma de la situation est attendu.
41. Déterminer l'expression littérale de la vitesse limite de chute v_{lim} .
42. Déterminer si une reprise de la liaison radio avec le drone au bout de 2 s permet de le sauver du crash. Les frottements seront négligés dans cette question.

B. Prévention des stress hydrique et thermique pour les cultures

Pour optimiser les rendements de son exploitation, l'agriculteur a besoin de suivre en temps réel les données météorologiques locales (température, pression, hygrométrie, pluviométrie...). Des capteurs placés près des cultures mesurent ces différentes grandeurs.

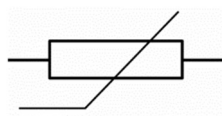
Les données peuvent ensuite être directement accessibles sur une tablette embarquée.

Partie 5 : Capteur de température

On s'intéresse ici aux mesures de température du sol (en surface et en profondeur) par un capteur de type thermistance.

Une thermistance est une résistance sensible à la température. On trouve deux types de thermistances : si la résistance augmente avec la température, la thermistance est dite à coefficient de température positif (CTP). Si la résistance diminue avec la température, elle est alors dite à coefficient de température négatif (CTN).

Symbole de la thermistance :



Ci-dessous un extrait de la fiche technique de la thermistance utilisée :

	Applications
	■ Temperature compensation ■ Temperature measurement ■ Temperature control
	Description
	Resistance value at 25 °C : $R_0 = 131 \, \Omega$ Operating temperature range : - 40 °C to 125 °C $B = 6\,500$ SI unit
	Features
	■ Wide resistance range ■ Cost-effective

On notera T la température exprimée en kelvin et θ cette même température exprimée en degré Celsius. On rappelle que : $T = \theta + 273$.

La thermistance étudiée est constituée d'un semi-conducteur en silicium. Sa résistance R est une fonction de la température T , exprimée en kelvin, selon la loi :

$$R(T) = A e^{B/T}$$

où A et B sont des constantes caractéristiques de la thermistance.

43. Déterminer les unités des constantes A et B à l'aide d'une analyse dimensionnelle.
44. Préciser si le capteur de température considéré est un capteur à coefficient de température positif (CTP) ou négatif (CTN).

Le graphique ci-dessous représente la variation du logarithme népérien de la résistance, $\ln(R)$, en fonction de l'inverse de la température $1/T$.

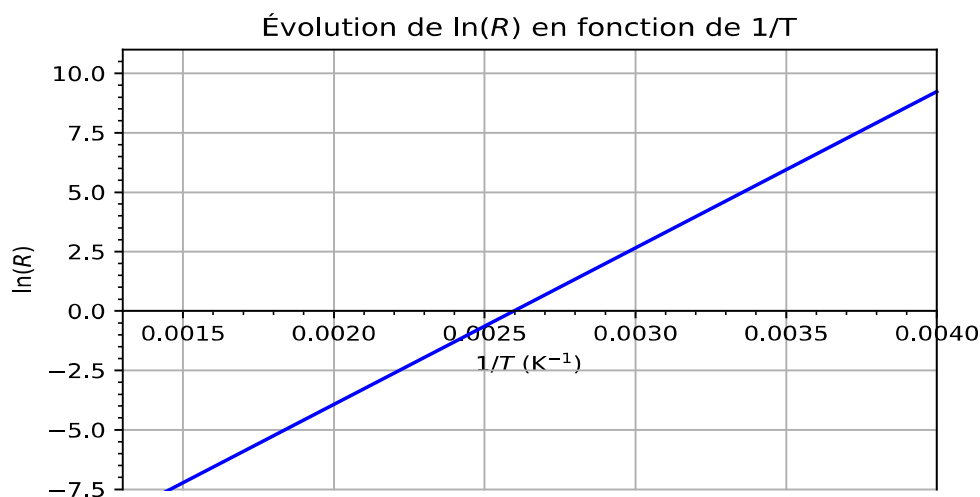


Figure 7 - Évolution de $\ln(R)$ en fonction de $1/T$

45. Déterminer graphiquement la valeur de la constante B avec deux chiffres significatifs à partir de la Figure 7.

On mesure directement la valeur de la résistance à l'aide d'un multimètre : on trouve $R_0 = 132,4 \, \Omega$ au calibre optimal.

46. Déterminer l'incertitude-type $u(R_0)$ à l'aide de la notice de l'appareil de mesure fournie dans les données. Présenter la valeur mesurée de R_0 sous la forme académique usuelle, avec deux chiffres significatifs pour l'incertitude.
47. Conclure sur la compatibilité entre la valeur expérimentale et la valeur théorique de la résistance donnée par le constructeur en effectuant une comparaison quantitative.

La thermistance est intégrée au circuit potentiométrique présenté sur la **Figure** ci-dessous. E est la force électromotrice constante d'un générateur idéal de tension. r est un résistor de résistance $r = 1,00 \times 10^2 \, \Omega$. La tension u aux bornes de ce dipôle est mesurée à l'aide d'un voltmètre numérique branché en dérivation à ses bornes.

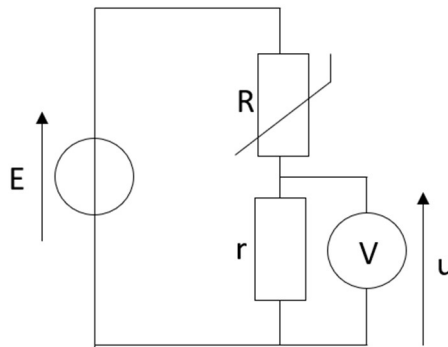


Figure 8 - Circuit potentiométrique intégrant la thermistance R

48. Donner l'expression de la tension u en fonction des grandeurs r , R et E .

Lorsque la température de la thermistance est $T_0 = 298 \, \text{K}$, le voltmètre, sur le calibre le mieux adapté, affiche la valeur u_0 suivante : $u_0 = 4,65 \, \text{V}$.

49. En déduire la valeur numérique de E .

Pour traduire l'influence de la variation de la température T sur la variation de la valeur de la résistance R , on introduit le coefficient de température noté α relié à la sensibilité du capteur. Ce coefficient α est défini au voisinage de la valeur T_0 par :

$$\alpha_{T_0} = \left(\frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT} \right)_{T_0}$$

50. Expliquer, à partir de l'expression de α_{T_0} , comment varie le coefficient de température de la thermistance étudiée avec sa sensibilité.
51. Montrer, pour la thermistance étudiée, que le coefficient de température α_{T_0} s'exprime par :

$$\alpha_{T_0} = \left(-\frac{B}{T^2} \right)_{T_0}$$

Puis, calculer la valeur de α_{T_0} au voisinage de $T_0 = 298 \, \text{K}$, en prenant la valeur de B fournie dans la fiche technique. Commenter le signe de α_{T_0} .

Une résistance métallique a un coefficient de température typiquement de l'ordre de $0,5 \times 10^{-2} \, \text{K}^{-1}$.

52. Justifier l'intérêt d'utiliser une thermistance plutôt qu'une résistance métallique comme capteur de température.

La thermistance est désormais intégrée au circuit en pont de la **Figure** ci-dessous. Le voltmètre numérique a une résistance interne supposée infinie, X est une résistance ajustable, les deux résistances R_1 valent chacune $1,00 \times 10^2 \Omega$. La force électromotrice E du générateur idéal de tension vaut 11,0 V.

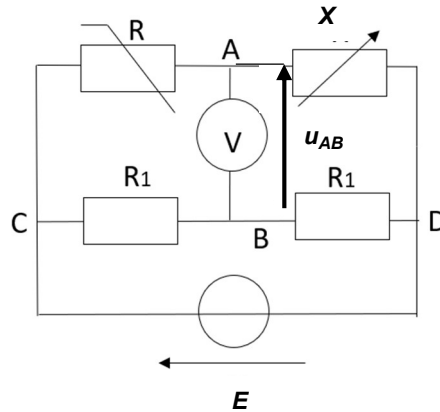


Figure 9 - Circuit en pont intégrant la thermistance R

53. Exprimer la tension u_{AB} aux bornes du voltmètre, en fonction de R , X et E .

Lorsque la température de la thermistance est $T_0 = 298$ K, on règle la valeur de la résistance X à X_0 pour que la tension u_{AB} ait une valeur nulle. Le pont est alors équilibré.

54. Calculer X_0 .

Pour la question qui suit le pont est équilibré : $X = X_0$.

Pour des petites variations de résistance au voisinage de T_0 , on pourra faire l'approximation que :

$$\alpha_{T_0} = \left(\frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT} \right)_{T_0} \approx \left(\frac{1}{R(T)} \frac{\Delta R(T)}{\Delta T} \right)_{T_0}$$

La variation du dernier chiffre ("un digit") correspond à la plus petite variation Δu_{min} de tension qui peut être mesurée avec ce voltmètre.

55. Lorsque la température de la thermistance est $T_0 = 298$ K, le voltmètre sur le calibre le plus sensible affiche 00,0 mV. Déterminer la plus petite valeur de la variation de température $\Delta T'_{min}$ de la thermistance que l'on peut détecter dans ces conditions autour de 300,0 K. Donner le résultat avec deux chiffres significatifs puis conclure sur l'usage de ce capteur en tant qu'indicateur de température à destination agricole.

Partie 6 : Étude d'un capteur capacitif d'une cuve à eau destinée à l'irrigation

Une recherche en ligne sur les capteurs capacitifs de niveau d'un liquide conduit à l'article suivant :

« Principe de mesure capacitive du niveau d'un liquide » : La mesure du niveau d'un liquide se fait par la mesure de variation de la capacité du capteur. Celui-ci est un condensateur formé de deux armatures conductrices isolées et séparées par ce qu'on appelle un diélectrique. La surface des armatures, leur écartement ainsi que la nature du diélectrique sont les éléments qui permettent de définir la valeur de la capacité du condensateur.

Dans notre étude, la surface et l'écartement des armatures sont constantes, c'est donc la nature du diélectrique (air ou liquide) qui va déterminer la valeur de la capacité du capteur.

Donc à vide, le capteur a une valeur capacitive minimum, cette valeur est maximale quand le capteur est complètement plongé dans le liquide ».

D'après <http://tanneau-electro.e-monsite.com/pages/schematheque/mesure-et-detection-de-niveau-de-liquide.html>

On étudie dans un premier temps les caractéristiques d'un condensateur. À cet effet, on considère le condensateur de la **Figure** constitué de deux armatures A et B, parallèles, de surface S , placées dans de l'air dont la permittivité est assimilée à celle du vide, ϵ_0 .

Donnée : Permittivité du vide : $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$

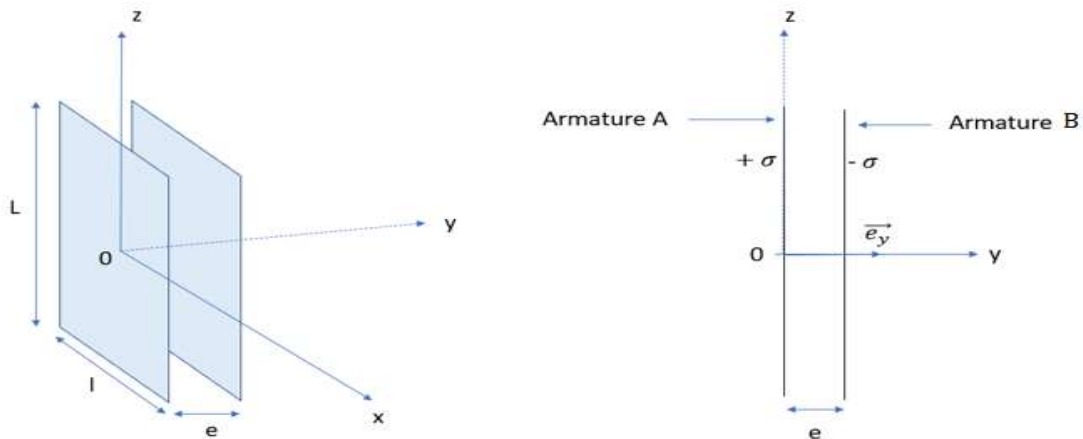


Figure 10 - Condensateur plan en perspective et en coupe

56. Représenter le symbole électrique d'un condensateur. Indiquer la relation liant la tension u_C à ses bornes, sa charge q et sa capacité C . Rappeler l'unité de la capacité C .

57. Donner des ordres de grandeurs de valeurs de capacités usuelles.

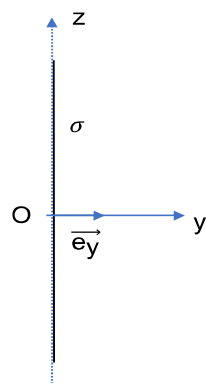
Les armatures du condensateur sont uniformément chargées en surface et perpendiculaires à l'axe (Oy) de vecteur unitaire associé $\vec{e}_y$ (**Figure 10**). L'armature A possède une densité superficielle de charges positives uniforme $+\sigma$ et l'armature B une densité superficielle de charges négatives uniforme $-\sigma$.

Ces armatures sont séparées d'une distance e .

L'épaisseur e du condensateur est très faible devant la longueur et devant la largeur des armatures, ce qui permet notamment de négliger les effets de bord.

On s'intéresse tout d'abord au champ électrostatique créé par une seule armature, que l'on assimilera à un plan infini chargé uniformément, de densité surfacique de charge σ positive et indépendante du temps.

Le champ électrostatique $\vec{E}$ créé par cette distribution de charges s'écrit :



$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{e}_y & \text{si } y > 0 \\ -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{e}_y & \text{si } y < 0 \end{cases}$$

58. En déduire l'expression du champ électrique entre les armatures du condensateur placées dans le vide pour un condensateur plan infini.

59. Montrer que la capacité C du condensateur plan a pour expression : $C = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{e}$

On s'intéresse désormais à un capteur capacitif permettant de connaître en temps réel le niveau d'eau dans une cuve, tel que présenté en introduction de cette partie. Le fonctionnement du capteur est le suivant : deux armatures sont placées dans la cuve, ce qui constitue un condensateur.

Lorsque la cuve est vide : le diélectrique est de l'air de permittivité $\epsilon_1 = \epsilon_0$; le condensateur a alors une capacité C_0 .

Lorsque la cuve se remplit d'eau de permittivité ϵ_2 jusqu'à une hauteur x mesurée à partir du bas des armatures, la capacité du condensateur a alors une nouvelle valeur $C(x)$ (**Figure 11**).

Lorsque le bas du condensateur est rempli d'eau jusqu'à une hauteur x : tout se passe comme si **deux condensateurs étaient placés en parallèle** :

- un condensateur de capacité C_1 de hauteur $h-x$ (dont le diélectrique est de l'air de permittivité ϵ_1),
- un condensateur de capacité C_2 de hauteur x (dont le diélectrique est de l'eau de permittivité $\epsilon_2 = \epsilon_r \epsilon_0$).

On donne les caractéristiques suivantes : $e = 7,00 \text{ mm}$, $S = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, $h = 70,0 \text{ cm}$ et $\epsilon_r = 78,5 \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ pour l'eau.

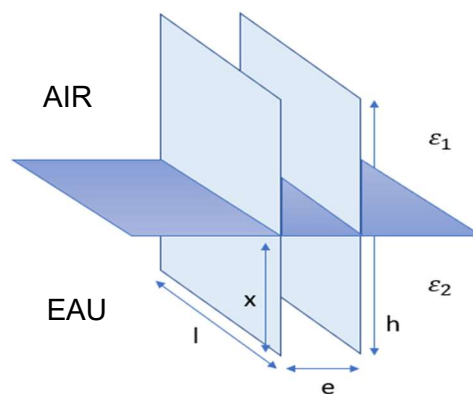


Figure 11 - Schéma de principe du capteur

60. Montrer en vous appuyant sur un schéma électrique que l'association en parallèle des deux condensateurs de capacités respectives C_1 et C_2 est équivalente à un seul condensateur de capacité $C = C_1 + C_2$.

61. Exprimer $C(x)$ sous la forme $C(x) = C_0 (1 + K \cdot x)$. Préciser les expressions de C_0 et de K en fonction des caractéristiques géométriques du capteur et des permittivités.

62. Calculer les valeurs des capacités minimale C_{min} et maximale C_{max} du capteur.

Un agriculteur souhaite irriguer une parcelle de pieds de tomates. La cuve, de forme cylindrique et de diamètre 230 cm, est partiellement remplie d'eau. Une mesure de la capacité C du capteur associée à la cuve donne $C = 700 \text{ pF}$.

63. Déterminer le volume d'eau disponible pour irriguer la parcelle de tomates.

Données

Numéros atomiques, masses molaires atomiques et électronégativités :

Élément chimique	N	O	S	Zn
Numéro atomique	7	8	16	30
Masse molaire atomique (en g·mol ⁻¹)	14,0	16,0	32,0	65,4

Constantes fondamentales :

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

À $T = 298 \text{ K}$, on considère que : $\frac{RT \ln(10)}{F} = 0,06 \text{ V}$

Potentiels standard d'oxydoréduction à pH = 0 et 298 K :

- Couple $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})$: $E^\circ_{\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 1,23 \text{ V}$
- Couple $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) / \text{H}_2(\text{g})$: $E^\circ_{\text{H}_2\text{O}(\text{l}) / \text{H}_2(\text{g})} = 0,00 \text{ V}$

Produit ionique de l'eau à 298 K : $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$

Enthalpies standard de formation $\Delta_f H^\circ$ et entropies molaires standard S_m° à 298 K :

Composé	$\Delta_f H^\circ$ (en kJ·mol ⁻¹)	S_m° (en J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)
CaO(s)	- 635,1	39,8
CaCO ₃ (s)	- 1207	92,9
CO ₂ (g)	- 393,5	214

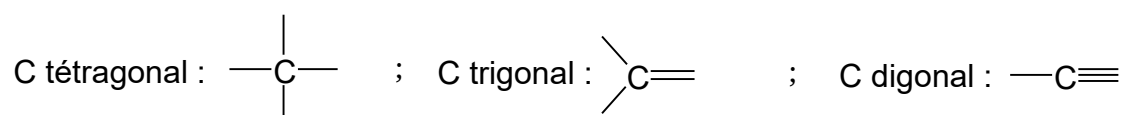
Notice du multimètre :

Fonction	Calibre	Précision
Tension DC Impédance 10 MΩ	200,0 mV	± (0,5 % + 2d)
	2000 mV	
	20,00 V	
	600,0 V	± (0,8 % + 2d)
Tension AC Impédance 10 MΩ	200,00 V	± (1,2 % + 3d)
	600,0 V	
Courant DC	2000 μA	± (1 % + 2d)
	20,00 mA	
	200,0 mA	
	10,00 mA	± (2 % + 5d)
Résistance	200,0 Ω	± (0,8 % + 5d)
	2000 Ω	
	20,00 kΩ	
	200,0 kΩ	
	2000 kΩ	
	20,00 MΩ	± (1 % + 5d)
	200,0 MΩ	± (5 % + 10d)

d correspond au digit (dernier chiffre affiché)

Table des nombres d'onde des vibrations d'élongation et de déformation :

Liaison	Nature	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité
O-H alcool libre	Élongation	3 590-3 650	F (fine)
O-H alcool lié	Élongation	3 200-3 600	F (large)
C _{di} -H	Élongation	~ 3 300	m ou f
C _{tri} -H	Élongation	3 030-3 100	m
C _{tet} -H	Élongation	2 850-2 970	F
C _{tri} -H aldéhyde	Élongation	2 700-2 900	m
O-H acide carboxylique	Élongation	2 500-3 200	F à m (large)
C=O ester	Élongation	1 735-1 750	F
C=O aldéhyde et cétone	Élongation	1 700-1 740	F
		Abaissement de ~ 20 à 30 cm ⁻¹ si conjugaison	
C=O acide carboxylique	Élongation	1 700-1 725	F
C _{tet} -H	<i>Déformation</i>	1 430-1 470	F
C _{tet} -H (CH ₃)	<i>Déformation</i>	1 370-1 390	F ; 2 bandes
O-H	<i>Déformation</i>	1260-1 410	F
C _{tet} -OH (alcools)	Élongation	1 010-1 200	
C-C	Élongation	1 000-1 250	F



Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)



Prénom (s) :

Centre
d'épreuves :

Né(e) le :

Concours/Examen : Épreuve : N° sujet :

Section-option/S spécialité/BAP/Domaine :

CONSIGNES

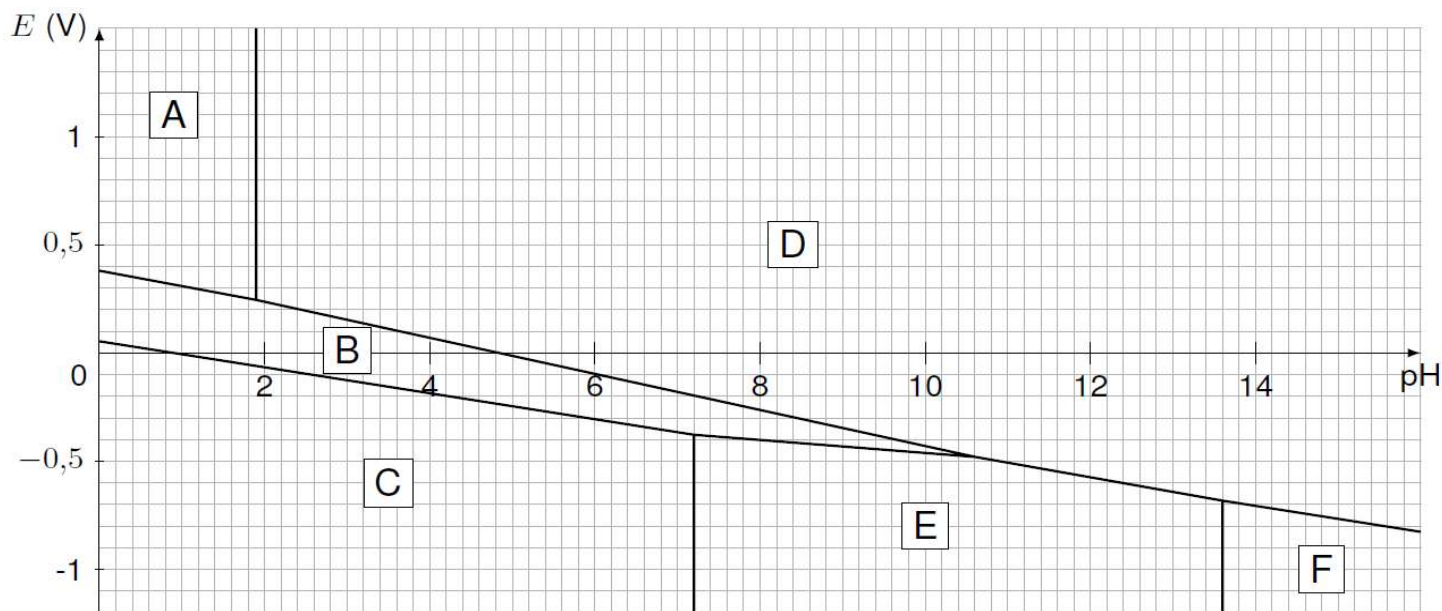
- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Indiquer le n° du sujet quand l'épreuve comporte plusieurs sujets au choix.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre noire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

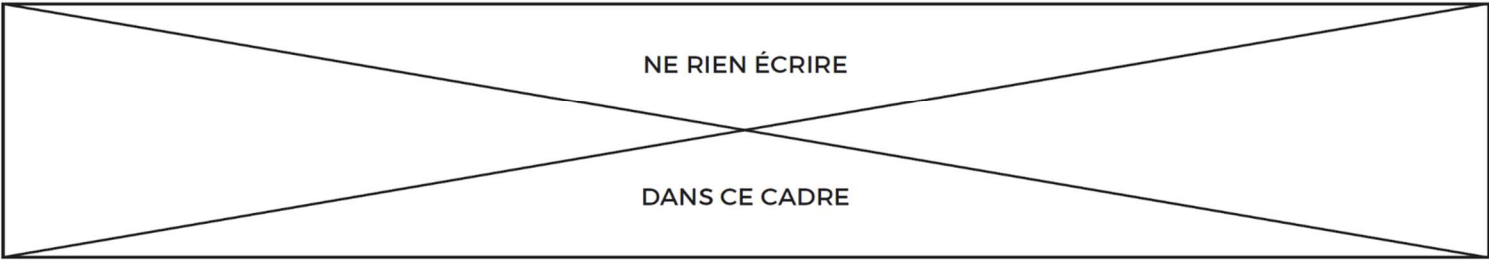
ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

Diagramme potentiel-pH de l'élément soufre

Pour ce tracé, les six espèces chimiques suivantes ont été prises en compte : $\text{HSO}_4^-(\text{aq})$, $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$, $\text{S}(\text{s})$, $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, $\text{HS}^-(\text{aq})$, $\text{S}^{2-}(\text{aq})$.

Le tracé a été réalisé pour une concentration en chacune des espèces dissoutes égale à $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.





NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE