BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2011

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte deux exercices de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci.

Les pages d'annexes (pages 10 et 11) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elles n'ont pas été complétées.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - TOUS SÉDUITS PAR LE BLEU (6,5 points)

L'oiseau Satin mâle (vivant dans l'Est de l'Australie et en Papouasie-Nouvelle-Guinée), agrémente la construction de son nid d'objets uniquement de couleur bleu afin de séduire les femelles. La couleur bleu prend une telle importance que cet oiseau va jusqu'à "peindre" son berceau avec un mélange de baies écrasées et de salive.
Dans des buts tout autres, le chimiste utilise, lui aussi, de nombreuses substances bleues au laboratoire : bleu de molybdène, carmin d'indigo, thymolphtaléine, etc. Il ne s'agit plus de séduire mais le plus souvent de suivre l'évolution des réactions chimiques.

D'après l'exposition "Art et Science" de mars 2010 à l'Université de Versailles

Dans cet exercice, la première partie est consacrée au choix d'un indicateur dont l'une des formes est bleue. La deuxième partie exploite la variation de concentration du bleu de molybdène à des fins cinétiques.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes

Données :

- pK_A du couple NH_4^+ / NH_3 à 25 °C : $pK_A = 9,2$;
- zones de virage de quelques indicateurs colorés :

	couleur de la forme acide	zone de virage	couleur de la forme basique
carmin d'indigo	bleu	11,6 - 14,0	jaune
thymolphtaléine	incolore	9,3 - 10,5	bleu
bleu de bromothymol	jaune	6,0 - 7,6	bleu
vert de bromocrésol	jaune	3,8 - 5,4	bleu

1. Du bleu pour doser l'ammoniac

Afin de mettre au point un protocole de titrage colorimétrique de solutions aqueuses d'ammoniac de concentration environ décimolaire, un chimiste réalise un titrage pH-métrique d'une solution de concentration connue. La courbe obtenue permet de choisir l'indicateur coloré le mieux adapté.

1.1. Les solutions aqueuses d'ammoniac sont obtenues par dissolution du gaz ammoniac dans l'eau. L'ammoniac dissous $NH_3(aq)$ est l'espèce basique du couple ion ammonium / ammoniac.

1.1.1. Écrire l'équation de la réaction de l'ion ammonium avec l'eau et donner l'expression de la constante d'acidité du couple ion ammonium/ammoniac.

1.1.2. Établir le diagramme de prédominance relatif au couple ion ammonium / ammoniac et donner l'espèce prédominante dans la solution étudiée dont le pH est 10,2.

1.2. On décide de titrer un volume $V_S = 10,0$ mL de solution aqueuse d'ammoniac de concentration $c_s = 1,00 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}. On utilise une burette de 25 mL et on dispose de plusieurs flacons d'acide chlorhydrique ($H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$) dont les concentrations sont : $c_1 = 1,00 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1}, $c_2 = 1,00 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1} et $c_3 = 1,00$ mol.L^{-1}.

1.2.1. Légender le dispositif de titrage **SUR LA FIGURE A1 DE L'ANNEXE EN PAGE 10**.

1.2.2. Donner l'équation de la réaction support du titrage.

1.2.3. Déterminer le volume de la chute de burette pour atteindre l'équivalence pour chacune des trois solutions d'acide chlorhydrique à disposition.

1.2.4. En déduire la solution du laboratoire la mieux adaptée à ce titrage.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1.3. La courbe obtenue lors de ce titrage est donnée **SUR LA FIGURE A2 DE l'ANNEXE EN PAGE 10**.

1.3.1. Proposer un indicateur coloré permettant de déterminer l'équivalence de ce titrage. Justifier en vous aidant de tracés sur le graphe **SUR LA FIGURE A2 DE L'ANNEXE EN PAGE 10.**

1.3.2. Indiquer alors la variation de couleur observée.

2. Quand le bleu apparaît

Dans une fiole jaugée de volume V = 100,0 mL, un chimiste réalise un mélange contenant :

- V_M = 20,0 mL d'une solution de molybdate d'ammonium de concentration $c_M = 4{,}0 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1} ;
- 10 mL d'acide sulfurique à 4,5 mol.L^{-1} ;
- V_F = 20,0 mL d'une solution de fructose de concentration $c_F = 2{,}0 \times 10^{-4}$ mol.L^{-1}.

Le mélange est complété à 100,0 mL avec de l'eau distillée.

La solution S obtenue, initialement incolore, est répartie dans des tubes à essai placés dans un bain-marie. Une coloration bleue de plus en plus intense apparaît peu à peu dans chaque tube.
Les tubes sont sortis du bain-marie les uns après les autres à différents instants et plongés dans de l'eau glacée pendant quelques minutes. L'absorbance de la solution S à ces différents instants est mesurée à une longueur d'onde de 720 nm.
La mesure de l'absorbance en fonction du temps est donnée sur la courbe représentée **SUR LA FIGURE A4 DE L'ANNEXE EN PAGE 11.**
L'absorbance A est reliée à la concentration c de l'espèce colorée par la relation : $A = k.c$ où k est une constante.

2.1. Lors de cette réaction, le fructose (F) est oxydé en un produit (F') incolore. Le molybdate d'ammonium noté Mo(ox) est réduit en Mo(red).
L'équation de la réaction peut s'écrire :

F + Mo(ox) = F ' + Mo(red) (équation de la réaction 1)

2.1.1. Déterminer l'espèce responsable de la couleur bleu.

2.1.2. L'allure de la courbe est-elle en cohérence avec l'observation expérimentale ? Interpréter.

2.1.3. En déduire l'expression de la concentration [Mo(red)] en fonction de l'absorbance A mesurée.

2.2. Vitesse volumique de réaction

On donne l'expression de la vitesse volumique de réaction : $v = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt}$.

2.2.1. Compléter le tableau d'évolution de la transformation (1), **TABLEAU A3 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**.

2.2.2. Montrer que l'avancement x est proportionnel à l'absorbance à tout instant.

2.2.3. Montrer que la vitesse volumique de réaction peut s'écrire $v = \frac{1}{k} \times \frac{dA}{dt}$.

2.2.4. À partir de la **FIGURE A4 DE L'ANNEXE EN PAGE 11** et de la relation précédente, tracer l'allure de l'évolution de la vitesse volumique au cours du temps.

2.2.5. En déduire si la variation de l'intensité de la couleur est mieux détectée par le chimiste pendant la première ou la deuxième heure de l'enregistrement.

2.3. Temps d'apparition de la couleur pour le chimiste.

2.3.1. Au bout d'une durée suffisamment longue, l'absorbance atteint sa valeur finale A_{fin} = 0,56. En justifiant la méthode, déterminer la valeur du temps de demi-réaction.

2.3.2. Pendant les cinq premières minutes, le chimiste s'inquiète car il ne voit aucune apparition de la couleur bleu prévue. Proposer une modification du protocole permettant une diminution de la valeur du temps de demi-réaction.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

EXERCICE II - LA SCINTIGRAPHIE DU COEUR (5,5 points)

Deux causes peuvent être à l'origine de douleurs cardiaques :
- soit les cellules qui constituent le muscle cardiaque sont détruites (ce qui correspond à un infarctus du myocarde) ;
- soit les cellules sont encore vivantes mais souffrent du manque d'oxygène dû à une réduction de l'irrigation sanguine (ce qui correspond à une ischémie coronaire).

Pour son diagnostic, le cardiologue prescrit une scintigraphie myocardique au cours de laquelle du thallium 201 est injecté au patient par voie intraveineuse. En effet, cet élément radioactif, émetteur gamma, n'est fixé que par les cellules vivantes du cœur et son rayonnement de faible énergie est alors détecté par une gamma-caméra à scintillations.

D'après un texte du mensuel Pour la Science

Dans la première partie de cet exercice, on étudie la production de thallium 201 qui sert à la préparation de la solution que l'on injecte au patient lors de son examen. Dans la deuxième partie, on s'intéresse à la désintégration radioactive du thallium 201. Enfin, dans la dernière partie, on traite de la scintigraphie myocardique.

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.

1. Production du thallium 201

1.1. Le thallium naturel $^{A}_{81}Tl$ est composé de thallium 203 et de thallium 205 à raison respectivement de 29,5 % et 70,5 % en masse.

1.1.1. Indiquer le nombre de protons et de neutrons contenus dans chacun de ces noyaux.

1.1.2. Expliquer pourquoi ces noyaux de thallium sont des isotopes.

1.2. On bombarde par un flux de protons une cible de thallium. Le thallium 203 se transforme en plomb 201 selon l'équation ci-dessous :

$$^{203}_{81}Tl + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{201}_{82}Pb + 3\,X$$

En énonçant les lois utilisées, identifier la particule X.

1.3. Le plomb 201 précédemment obtenu subit spontanément une désintégration radioactive β^+ pour former le thallium 201. Écrire l'équation de la désintégration du noyau de plomb 201 en thallium 201. On supposera que le noyau fils n'est pas émis dans un état excité.

2. La désintégration du thallium 201

Données :
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}0 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
- constante de Planck : $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J.s ;
- électronvolt : 1 eV = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J.

2.1. Lors de la désintégration du thallium 201 un des rayonnements émis possède une énergie E de 135 keV.

2.1.1. Donner l'expression littérale de la longueur d'onde de ce rayonnement λ dans le vide en fonction de l'énergie E, de la célérité de la lumière dans le vide c et de la constante de Planck h.

2.1.2. Calculer la longueur d'onde λ de ce rayonnement dans le vide.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

2.1.3. La **figure 1** ci-dessous représente les différents domaines du spectre des ondes électromagnétiques. À quel domaine du spectre appartient le rayonnement émis lors de la désintégration du thallium 201 ?
Votre réponse est-elle en cohérence avec les renseignements du texte introductif ?

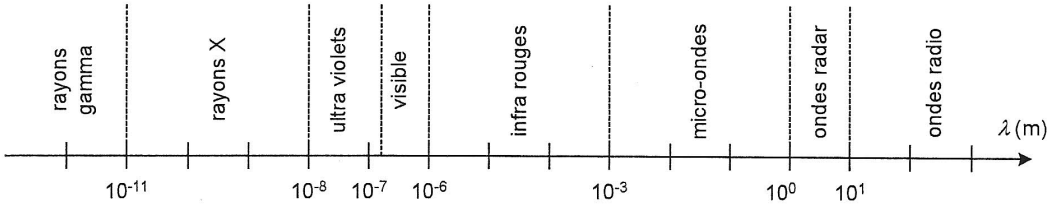


Figure 1. Les différents domaines du spectre électromagnétique

2.2. Le processus de désintégration du thallium 201 s'effectue en plusieurs étapes. On obtient un noyau excité de mercure Hg* qui se désexcite en émettant le rayonnement d'énergie E de 135 keV. Dans un noyau, il existe des niveaux d'énergie comme dans le cortège électronique d'un atome. La **figure 2** représente le diagramme énergétique du noyau de mercure.

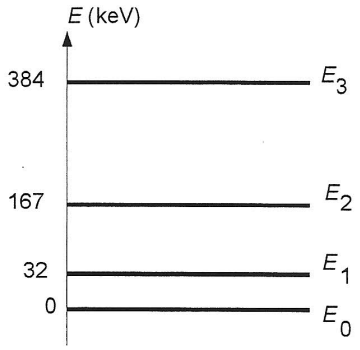


Figure 2. Diagramme énergétique représentant les premiers niveaux du noyau de mercure

À quelle transition correspond le rayonnement d'énergie E = 135 keV ?

3. Scintigraphie myocardique

Données :

- constante radioactive du thallium 201 : $\lambda_{Tl} = 2{,}6 \times 10^{-6}$ s^{-1} ;
- masse molaire du thallium 201 : M = 201,0 g.mol^{-1} ;
- loi de décroissance radioactive relative à l'activité : $A(t) = A_0.e^{-\lambda.t}$;
- relation entre l'activité A et le nombre de noyaux N : $A = \lambda.N$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 5 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3.1. Lors d'une scintigraphie myocardique, on utilise une solution de chlorure de thallium 201 dont l'activité volumique A_v est de 37 MBq.mL^{-1}. Cet examen nécessite l'injection par voie intraveineuse d'une solution d'activité A_0 de 78 MBq chez un individu de 70 kg. On visualise les premières images du cœur grâce à une gamma-caméra à scintillations quelques minutes seulement après l'injection.

3.1.1. Calculer le volume V de solution d'activité A_0 à injecter à un patient de 70 kg.

3.1.2. À partir de l'activité initiale A_0, montrer que le nombre de noyaux N_0 de thallium 201 reçus par le patient au moment de l'injection est de $3{,}0 \times 10^{13}$.

3.1.3. En déduire la masse m_0 de thallium correspondante.

3.1.4. Le thallium présentant une certaine toxicité, une dose limite a été fixée. Elle est de 15 mg.kg^{-1} par unité de masse corporelle. Vérifier par un calcul que la dose injectée au patient ne présente pas de danger.

3.1.5. Vérifier que le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du thallium 201 vaut 75 heures.

3.1.6. On estime que les résultats de l'examen sont exploitables tant que l'activité du traceur est supérieure à 3 MBq.
Par un calcul de l'activité A, déterminer au bout de combien de jours une nouvelle injection est nécessaire.

3.2. Après injection de la solution de chlorure de thallium 201, l'examen médical consiste pour le patient à produire un effort lors d'un exercice physique pendant lequel une gamma-caméra prend des images de son cœur. Une autre série d'images est prise deux heures plus tard lorsque le patient est au repos. La **figure 3** montre les résultats d'une scintigraphie myocardique effectuée sur trois patients différents A, B et C. Le patient A est en parfaite santé.

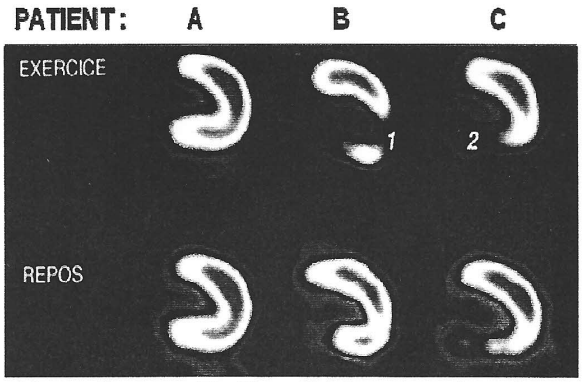


Figure 3. Scintigraphie cardiaque au Thallium 201 de trois patients lors d'un exercice physique puis au repos. Les zones claires sur les images représentent les cellules saines du cœur qui fixent le thallium 201.

3.2.1. En vous aidant du texte introductif, dire si le diagnostic médical pour le patient B est une ischémie coronaire ou un infarctus du myocarde. Justifier.

3.2.2. Même question pour le patient C. Justifier.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 6 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

EXERCICE III - COMMENT PEUT-ON STOCKER DE L'ÉNERGIE ? (4 points)

Est-ce facile de stocker de l'énergie ? Certains penseront que cette question n'a pas d'intérêt : bien sûr qu'il est facile de stocker de l'énergie ! Il suffit de disposer d'un tas de charbon dans la cave, d'une pile électrique, d'avoir un réservoir de fioul chez soi. Tout cela permet effectivement de disposer d'une réserve d'énergie que nous pouvons consommer quand nous le souhaitons.
Ce qui fait l'intérêt de l'énergie ce n'est pas seulement d'en avoir, c'est d'en avoir quand nous en avons besoin. Les énergies renouvelables (solaire ou éolienne), qui dépendent d'une source d'énergie (le Soleil ou le vent) qui n'est pas nécessairement disponible quand nous désirons qu'elle le soit, illustrent bien ce problème. Dès lors, il est nécessaire de pouvoir stocker de l'énergie.

Le but de cet exercice est d'étudier trois modes de stockage de l'énergie et de comparer dans chacun des cas l'énergie stockée par kilogramme, d'une part et le temps nécessaire pour l'accumuler et la délivrer, d'autre part.

Les quatre parties de cet exercice sont indépendantes.

1. Stockage de l'énergie dans une bobine

La bobine d'allumage (**figure 4**) assure la distribution de la haute tension pour les moteurs à essence.

L'énergie est stockée sous forme électrique puis une étincelle est produite lors de la restitution de cette énergie.

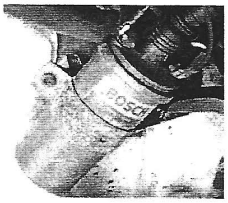


Figure 4. Bobine d'allumage

On souhaite stocker une énergie E_L dans une bobine idéale d'inductance L.
On dispose d'une alimentation continue qui délivre une tension $U = 6{,}0$ V.
On utilise le circuit de la **figure 5** ci-dessous :

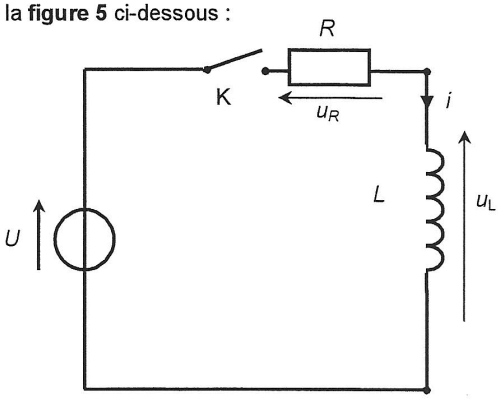


Figure 5. Circuit pour le stockage de l'énergie dans une bobine

À $t = 0$, on ferme l'interrupteur K.
1.1. À l'aide de la relation liant u_L, L et i, déterminer la valeur de u_L en régime permanent.
1.2. Montrer que l'expression de l'intensité I du courant en régime permanent est $I = \frac{U}{R}$.
1.3. Exprimer l'énergie E_L emmagasinée par la bobine lorsque le régime permanent est atteint.
1.4. On souhaite que la bobine stocke l'énergie $E_L = 10$ J en régime permanent. On dispose d'une résistance R égale à 1,8 Ω. Calculer alors la valeur de L pour satisfaire cette condition.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1.5. Aujourd'hui, il existe des bobines supraconductrices (**figure 6**) capables de stocker de l'énergie en les court-circuitant sur elles-mêmes. Ces bobines possèdent une résistance interne que l'on peut considérer comme nulle. Par exemple, une de ces bobines a une inductance de 0,10 H et peut être parcourue par un courant d'intensité égale à 500 A.
Que vaut l'énergie E_{supra} stockée par cette bobine ?

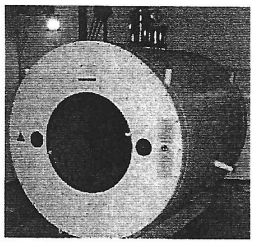


Figure 6. Bobine supraconductrice

2. Stockage de l'énergie dans un condensateur

On charge un condensateur, préalablement déchargé, de capacité C en le branchant en série avec une résistance R' et un générateur de tension de force électromotrice U = 12 V. Le schéma du montage est représenté sur la **figure 7** ci-dessous :

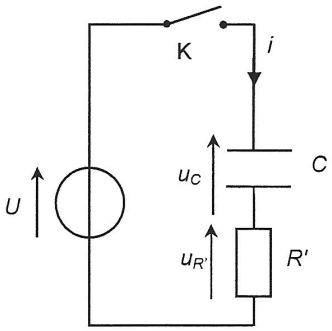


Figure 7. Circuit de charge du condensateur

À t = 0, on ferme l'interrupteur K.
2.1. Que vaut la tension u_C juste après la fermeture de l'interrupteur K ? Justifier.
2.2. En déduire l'expression i_0 de l'intensité i à cet instant.
2.3. L'interrupteur étant fermé depuis suffisamment longtemps, le régime permanent est atteint. Quelle est alors la tension u_C aux bornes du condensateur ?
2.4. Donner l'expression de l'énergie emmagasinée E_C par le condensateur lorsque la charge est terminée.
2.5. On souhaite que le condensateur stocke une énergie E_C = 10 J.
Calculer la valeur de C pour satisfaire à cette condition.

2.6. Aujourd'hui, il existe des supercondensateurs (**figure 8**) dont les capacités peuvent atteindre le millier de farads. On utilise un supercondensateur possédant une capacité de 800 F et dont la tension maximale à ses bornes est égale à 2,5 V.
Que vaut l'énergie E_{super} stockée par ce supercondensateur lorsqu'il est chargé sous la tension maximale ?

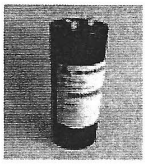


Figure 8. Supercondensateur

3. Stockage hydraulique de l'énergie

Les barrages hydroélectriques constituent des réserves d'eau dont l'énergie potentielle de pesanteur est utilisée pour faire tourner des turbines génératrices d'électricité. Quand la demande d'énergie électrique sur le réseau est faible (heures creuses, week-end) la production excédentaire des dispositifs non réglables (nucléaire, solaire, éolien…) est utilisée pour remonter l'eau dans des barrages d'altitude. Pendant les pics de consommation, cette eau est relâchée à nouveau et permet la production de l'électricité.

3.1. Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} de l'eau dans un barrage d'altitude en fonction de la masse volumique ρ de l'eau, de son volume V, de l'intensité de la pesanteur g et de la hauteur de chute h. On considère l'énergie potentielle de pesanteur nulle au niveau de la turbine et la hauteur de chute h constante.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 8 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3.2. La centrale de Grand Maison en Isère possède un réservoir de 140 millions de mètres cubes d'eau dont la hauteur de chute est h = 0,90 km. On donne la masse volumique de l'eau $\rho = 1{,}0\times10^{3}$ kg.m^{-3} et l'intensité du champ de pesanteur : g = 10 m.s^{-2}.
Déterminer l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} pouvant être stockée sous cette forme.

4. Comparaison de certaines des caractéristiques des trois dispositifs

Afin de comparer les différents modes de stockage des trois dispositifs étudiés, on donne, dans le tableau ci-dessous, la quantité d'énergie pouvant être stockée par kilogramme et le temps nécessaire pour récupérer cette énergie stockée.

	Bobine supraconductrice	Supercondensateur	Barrage
Energie stockée par kg	15 kJ	20kJ	10 kJ
Durée minimale pour récupérer la quasi-totalité de l'énergie stockée	1ms	10 s	10 jours
Puissance moyenne disponible par kg	$1{,}5\times10^{7}$ W	2×10^{3} W	P

4.1. Calculer la puissance moyenne P disponible par kg pour le barrage.
4.2. On utilise des supercondensateurs dans les voitures électriques pour fournir un courant d'intensité élevée au démarrage. Le supercondensateur doit fournir une intensité constante égale à 100 A sous une tension de 2,5 V pendant 10 s.
Calculer la masse du supercondensateur nécessaire pour fournir l'énergie souhaitée au démarrage du véhicule électrique.

Rappel : un générateur débitant un courant d'intensité I sous une tension U fournit au circuit une puissance $P = UI$.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

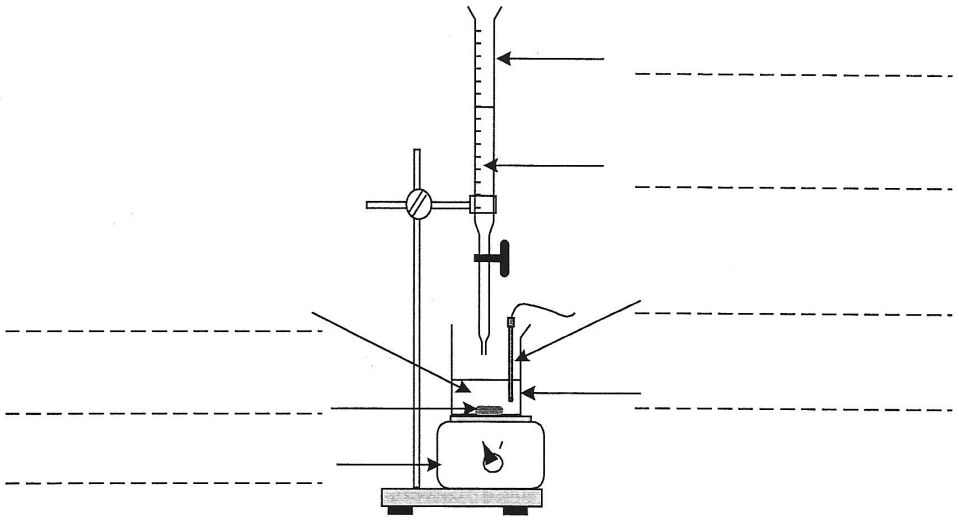


Figure A1. Schéma du dispositif de titrage

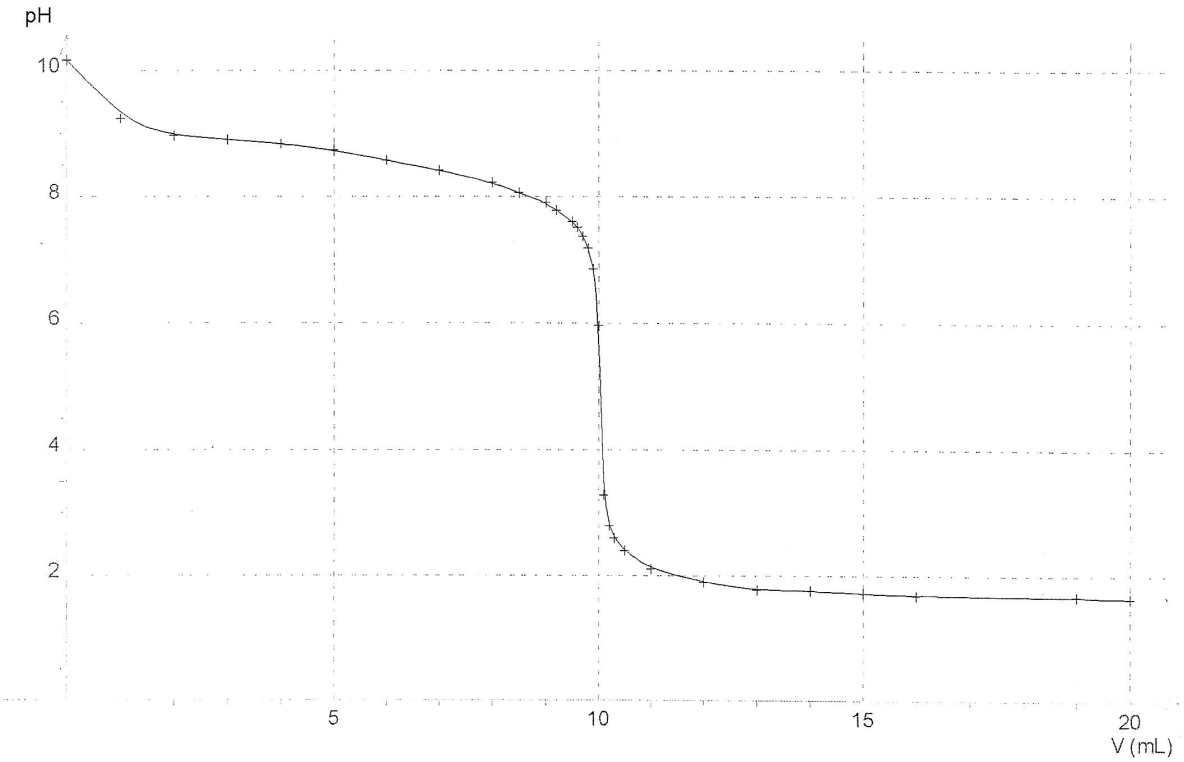


Figure A2. Titrage de la solution aqueuse d'ammoniac

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

Équation chimique		F + Mo(ox) = F ' + Mo(red)			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$	n_i(F)	n_i(Mo)	0	0
En cours de transformation	x				
État final	x_f				

Tableau A3. Tableau d'évolution de la transformation (1)

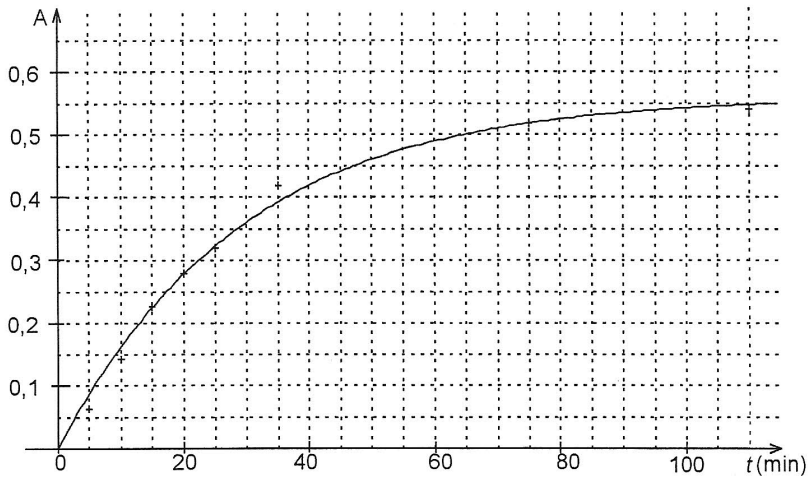


Figure A4. Absorbance de la solution S en fonction du temps

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 11 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer