

BACCALAURÉAT BLANC
Lycée Fernand Daguin – Mérignac (33)

Jeudi 16 Février 2012

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

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

Les données sont en italique

L'usage des calculatrices est **AUTORISÉ**



Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 7 pages numérotées de 1 à 7 et **la feuille annexe A1, QUI SERA À RENDRE AVEC LA COPIE.**

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

- I. Allumage progressif d'une lampe (7 points)**
- II. Un engrais à utiliser avec modération : le nitrate d'ammonium (8 points)**
- III. Le thallium, radionucléide au service de la médecine (5 points)**

I- Allumage progressif d'une lampe (7 pts)

On commercialise aujourd'hui des réveils « éveil lumière / éveil douceur ». Le concept utilisé est le suivant : lorsque l'heure du réveil programmé est atteinte, la lampe diffuse une lumière dont l'intensité lumineuse augmente progressivement jusqu'à une valeur maximale. On évite de cette façon un réveil trop brutal. Lors d'un atelier scientifique, deux élèves décident de construire un circuit électronique permettant de faire varier doucement la luminosité d'une lampe, en utilisant les propriétés électriques d'une bobine.

Dans une première partie, ces propriétés sont mises en évidence de façon qualitative. Dans une seconde partie, les élèves déterminent l'inductance de la bobine utilisée. Le fonctionnement est ensuite étudié expérimentalement à l'aide d'une acquisition informatique. Certaines données ne sont pas utiles à la résolution de l'exercice.

1. Influence d'une bobine dans un circuit électrique

Les élèves réalisent le circuit représenté sur la figure 1. Il est constitué d'un générateur de tension de force électromotrice (f.e.m.) $E_1 = 12\text{ V}$, d'une bobine d'inductance $L = 1,2\text{ H}$ et de résistance $r = 10\ \Omega$, d'un conducteur ohmique de résistance R_1 de même valeur que r et de deux lampes identiques (L_1) et (L_2).

Dans cette partie seulement, on supposera que chaque lampe a le même comportement électrique qu'un conducteur ohmique de résistance R_{lampe} .

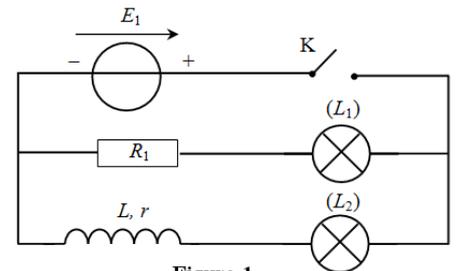


Figure 1

1.1. Immédiatement après la fermeture de l'interrupteur K, les deux lampes ne s'allument pas simultanément : une lampe brille quasi-instantanément, l'autre brille avec retard.

Quelle lampe s'allume la première ? Pourquoi l'autre lampe s'allume-t-elle avec retard ?

1.2. En fin d'expérience on voit que les deux lampes ont la même luminosité.

Pour interpréter cette observation, considérons une association d'une bobine et d'une lampe en série soumise à une tension E_1 (voir figure 2)

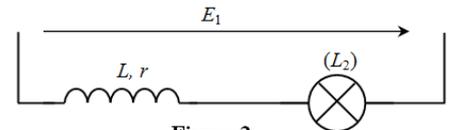


Figure 2

1.2.1. Etablir l'expression de l'intensité I du courant circulant dans cette association lorsque le régime permanent s'est établi.

1.2.2. Expliquer pourquoi les lampes ont la même luminosité en fin d'expérience, dans le circuit de la figure 1.

1.3. On appelle τ la constante de temps caractérisant l'évolution temporelle de l'intensité du courant électrique lors de l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'une bobine d'inductance L , de résistance interne r .

La durée nécessaire pour atteindre la luminosité maximale est de l'ordre de $5\ \tau$.

1.3.1. Donner l'expression de τ .

1.3.2. Vérifier par une analyse dimensionnelle, que l'expression donnée est bien homogène à un temps.

1.3.3. Calculer τ pour le circuit de la figure 2. On prendra $R_{\text{lampe}} = 10\ \Omega$.

1.3.4. Le retard à l'allumage d'une lampe évoqué dans l'exercice est-il détectable par un observateur ? On précise que l'œil est capable de distinguer deux phénomènes consécutifs s'ils sont séparés d'au moins $0,1\text{ s}$.

2. Vérification de la valeur de l'inductance L de la bobine utilisée

Dans cette partie, les élèves cherchent à déterminer précisément la valeur de l'inductance L de la bobine utilisée. Ils réalisent le montage, représenté sur la figure 3, permettant d'enregistrer la décharge d'un condensateur de capacité $C = 47\ \mu\text{F}$ à travers la bobine. Le condensateur est initialement chargé sous une tension $E_2 = 6,0\text{ V}$ (commutateur K en position 1).

Après avoir basculé K en position 2, on enregistre l'évolution de la tension aux bornes du condensateur au cours du temps ; la courbe obtenue est représentée sur la figure 4.

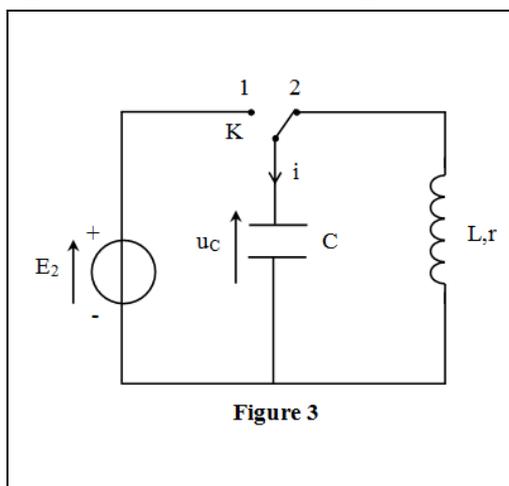


Figure 3

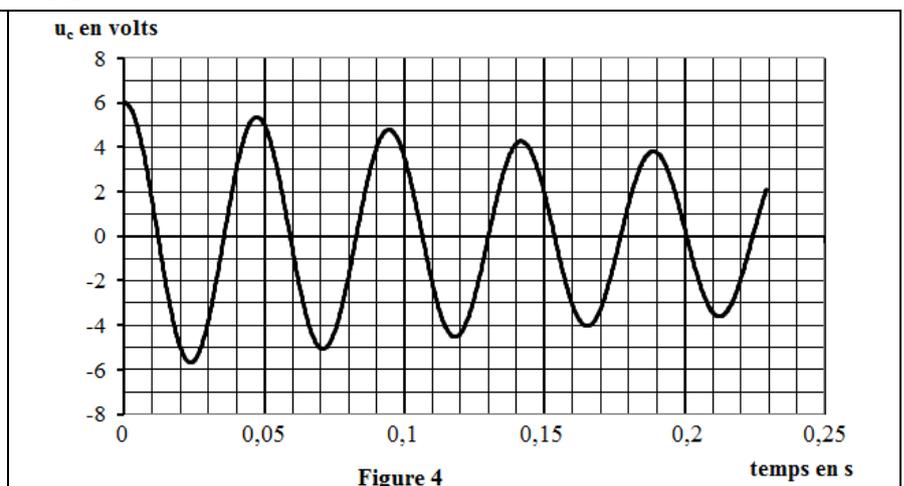


Figure 4

2.1. Etablir l'équation différentielle régissant les variations de la tension u_C aux bornes du condensateur au cours de sa décharge dans la bobine.

2.2. Quel phénomène physique est responsable de l'amortissement des oscillations ?

2.3. Comment faudrait-il modifier le circuit de décharge pour que le circuit soit le siège d'oscillations non-amorties ?

2.4. Dans ce cas, comment se simplifie l'équation différentielle écrite en 2.1. ?

2.5. Parmi les expressions suivantes, laquelle (ou lesquelles) pourrait correspondre à des oscillations non-amorties ? Justifier. E , U_m , T_0 et φ sont des constantes.

$$u_C = E(1 - e^{-t/T_0}) ; u_C = U_m \cos(2\pi t/T_0) ; u_C = U_m \sin(2\pi t/T_0 + \varphi) ; u_C = U_m e^{-t/T_0} \cos(2\pi t/T_0)$$

2.6. On rappelle que dans le cas où l'amortissement est faible, la pseudo-période T des oscillations est proche de la période propre T_0 .

2.6.1. Déterminer graphiquement la valeur de la pseudo-période T des oscillations.

2.6.2. En déduire l'inductance L de la bobine. Comparer avec la valeur donnée dans le paragraphe 1. .

3. Étude expérimentale de la luminosité d'une lampe dans un circuit électrique contenant une bobine.

La luminosité de la lampe est liée à la puissance électrique qu'elle reçoit. On rappelle l'expression, en convention récepteur, de la puissance électrique instantanée $p(t)$ reçue par un dipôle soumis à la tension $u(t)$ et traversé par un courant d'intensité $i(t)$: $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Pour étudier l'évolution temporelle de la puissance électrique reçue par la lampe, les élèves réalisent maintenant le circuit représenté sur la figure 5 et procèdent à une acquisition informatique des données à l'aide d'une interface possédant deux bornes d'entrée notées (Y_1) et (Y_2) et une masse notée (M). Ils utilisent la lampe (L_1), la bobine d'inductance L , un conducteur ohmique dont la résistance a pour valeur $R_0 = 1 \Omega$ et une source de tension continue de f.e.m. E .

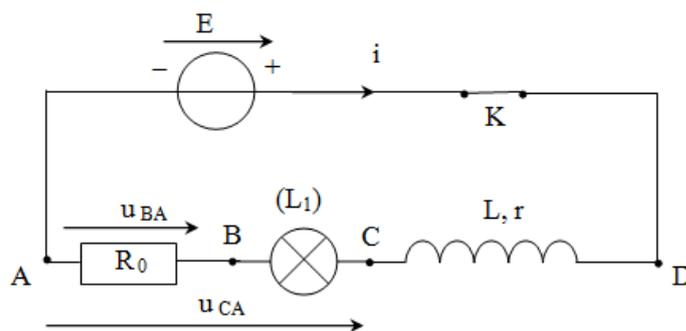


Figure 5

3.1. On veut visualiser les tensions u_{BA} et u_{CA} respectivement sur les voies 1 et 2 de l'interface d'acquisition.

À quels points du circuit (A, B, C ou D) peut-on brancher (Y_1), (Y_2) et (M) pour enregistrer ces tensions ?

3.2. Les élèves souhaitent suivre l'évolution temporelle de la puissance électrique reçue par la lampe (L_1).

À partir des grandeurs mesurées u_{BA} , u_{CA} et de la résistance R_0 , exprimer :

3.2.1. la tension $u(t) = u_{CB}$ aux bornes de la lampe ;

3.2.2. l'intensité $i(t)$ du courant électrique ;

3.2.3. la puissance électrique $p(t)$ reçue par la lampe.

3.3. Pourquoi les élèves ont-ils choisi un conducteur ohmique dont la valeur de la résistance est très faible ?

3.4. La figure 6 représente l'évolution temporelle de la puissance électrique $p(t)$ reçue par la lampe (L_1). On estime que pour réveiller un individu, la lumière est suffisante lorsque cette puissance atteint 90 % de sa valeur maximale.

À partir de cette courbe, déterminer la durée nécessaire pour permettre le réveil.

3.5. Cette durée est-elle compatible avec l'utilisation d'un tel montage pour une « lampe à diffusion douce » ? Quels paramètres faudrait-il pouvoir modifier pour contrôler la durée du phénomène ?

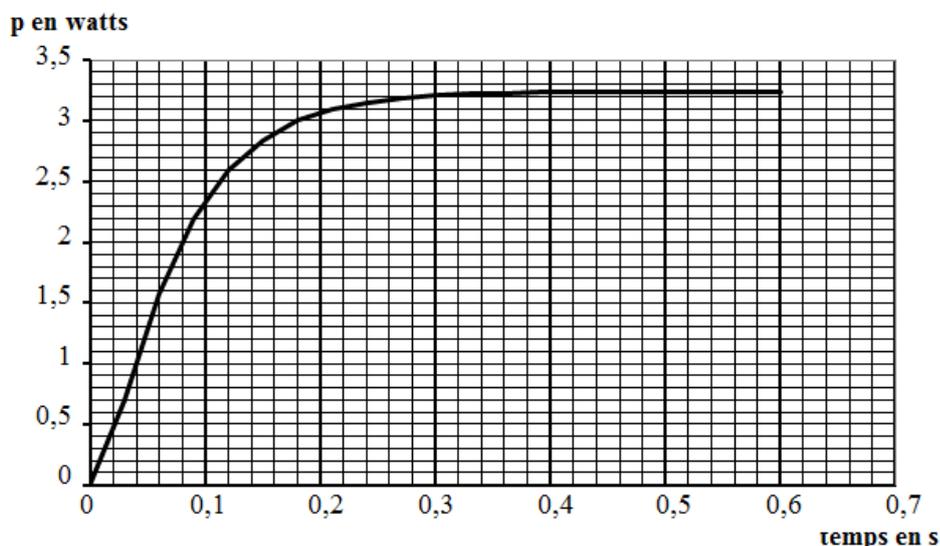


Figure 6

II- Un engrais à utiliser avec modération : le nitrate d'ammonium (8pts)

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 ($NH_4NO_{3(s)}$).

Sur le sac, on peut lire « pourcentage en masse de l'élément azote N : 34,4% ».

L'utilisation inadaptée ou excessive de cet engrais entraîne une augmentation dangereuse des ions nitrate dans les eaux.

La pollution des eaux par les nitrates présente un double danger :

- pour la santé des humains, en modifiant l'hémoglobine du sang, qui ne peut plus transporter l'oxygène.
- pour les milieux aquatiques, entraînant la prolifération des algues vertes (eutrophisation)

Cet exercice a pour but dans un premier temps de vérifier l'indication du fabricant en dosant les ions ammonium NH_4^+ présents dans l'engrais. Dans la deuxième partie on s'intéressera au procédé de dénitrification bactériologique.

Données : Couples acide/base : $NH_4^+(aq)/NH_3(aq)$ $H_2O(l)/HO^-(aq)$

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

Masse molaire en $g \cdot mol^{-1}$: Azote N : 14,0 ; Oxygène O : 16,0 ; Hydrogène H : 1,0

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



A- Première partie : vérification du pourcentage en masse d'élément azote

1. Etude de la réaction de titrage

Le titrage des ions ammonium est réalisé avec de la soude, ou solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$).

L'équation support de titrage est : $NH_4^+(aq) + HO^-(aq) = NH_3(aq) + H_2O(l)$

1.1. L'ion ammonium $NH_4^+(aq)$ est-il un acide ou une base selon Brønsted ? Justifier la réponse.

1.2. On introduit dans un bécher un volume $V = 30,0$ mL d'une solution contenant des ions ammonium à la concentration molaire apportée $C = 0,10$ mol.L⁻¹ et un volume $V_1 = 15,0$ mL de solution d'hydroxyde de sodium à la concentration molaire apportée $C_1 = 0,10$ 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 A1, à rendre avec la copie.
- 1.2.2. Calculer les quantités de matière des réactifs initialement introduits dans le bécher.
- 1.2.3. À partir de la mesure du pH, déterminer la quantité de matière d'ions hydroxyde à l'état final. Montrer que l'avancement final de la réaction x_f vaut $1,5 \times 10^{-3}$ mol.
- 1.2.4. Calculer la valeur de l'avancement maximal de la réaction x_{max} .
- 1.2.5. Dédire des résultats précédents que la transformation est totale.

2. Titrage pH-métrique

Une solution d'engrais S est obtenue en dissolvant $m = 4,80$ g d'engrais dans une fiole jaugée de volume $V = 200,0$ mL.

On prépare un bécher contenant $V_a = 20,0$ mL de S. On y ajoute 20 mL d'eau déminéralisée pour immerger correctement l'électrode de pH. La solution est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$) de concentration molaire apportée $C_B = 0,400$ mol.L⁻¹. On obtient la courbe $pH = f(V_B)$ se trouvant en annexe A1 à rendre avec la copie.

- 2.1. Définir l'équivalence d'un titrage.
- 2.2. Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E du titrage.
- 2.3. L'ajout d'eau déminéralisée a-t-il une influence sur le volume versé à l'équivalence ? Expliquer.
- 2.4. Quelle autre méthode peut-on utiliser pour déterminer le point d'équivalence ?

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

3.1. 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 dosés, $n_0(NH_4^+)$, et la quantité d'ions hydroxyde versés à l'équivalence, $n_e(HO^-)$.

3.2. En déduire la valeur de $n_0(NH_4^+)$.

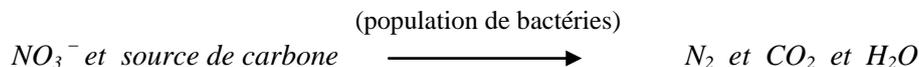
3.3. Quelle quantité de matière d'ions ammonium $n(NH_4^+)$ a-t-on initialement dans la fiole jaugée de 200 mL ? En déduire la quantité de nitrate d'ammonium présente dans cette fiole.

3.4. 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.

3.5. Le pourcentage massique en élément azote est le rapport entre la masse d'azote présente dans l'échantillon et la masse de l'échantillon, l'indication du fabricant est-elle correcte ?

B- Deuxième partie : cinétique de la réduction des ions nitrate par des bactéries (d'après une étude faite par une étudiante de master analyse chimique de l'université de Constantine (Algérie))

On étudie la dénitrification des eaux usées dans un bioréacteur contenant $V = 200$ mL de milieu nutritif, constitué de bactéries et de méthanol comme source de carbone pour la croissance de leur population. Les bactéries se développent pour des températures comprises entre 15°C et 70°C , le réacteur est maintenu à une température constante de 30°C . Cette technique de dénitrification a l'avantage de ne générer aucun déchet secondaire. Les ions nitrate sont alors réduits en diazote gazeux selon une réaction complexe pouvant se traduire de la façon suivante :



La courbe $x = f(t)$ donnant l'évolution de l'avancement x au cours du temps t est obtenue à partir du dosage des ions nitrate. Cette courbe est donnée **en annexe A1 à rendre avec la copie**.

1. La vitesse volumique de la réaction est donnée par la relation : $v(t) = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$, où V est le volume de la solution, supposé constant.

1.1. Que représente graphiquement $\frac{dx}{dt}$?

1.2. Décrire, en utilisant la courbe $x = f(t)$, l'évolution de cette vitesse au cours du temps.

1.3. Sachant que dans le réacteur la population de bactéries augmente rapidement au cours du temps, justifier l'évolution de cette vitesse.

2. Définir le temps de demi-réaction et estimer graphiquement sa valeur.

3. En supposant que les bactéries se développent plus rapidement lorsque la température augmente, quelle serait l'allure de la courbe $x = f(t)$ si la température du réacteur était de 40°C ? Justifier.

III- Le thallium, radionucléide au service de la médecine (5 pts)

Dans la 1^{ère} 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 du coeur. 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.

Données :

- loi de décroissance radioactive : $N = N_0 e^{-\lambda t}$

- masse molaire du thallium 201 : $M(^{201}_{81}\text{Tl}) = 201,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

- énergie de masse de l'unité de masse atomique u : $931,5 \text{ MeV}$

- masses de quelques noyaux et particules en unité de masse atomique :

$$m(^{201}_{81}\text{Tl}) = 200,92698 \text{ u}; \quad m(^{201}_{82}\text{Pb}) = 200,92851 \text{ u} \quad m(^0_1\text{e}) = 5,5 \times 10^{-4} \text{ u};$$

- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

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 coeur et son rayonnement de faible énergie est alors détecté par une gamma-caméra à scintillations.

D'après un texte du mensuel "Pour la science"

1. Production du thallium 201

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

1.1.1. Indiquer les nombres de protons et de neutrons contenus dans chacun de ces noyaux.

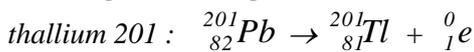
1.1.2. Expliquer pourquoi ces noyaux de thallium sont des isotopes.

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



En énonçant les lois utilisées, identifier la particule X. La nommer.

1.3. Le plomb 201 précédemment obtenu subit spontanément la désintégration radioactive suivante, pour former le thallium 201 :



1.3.1. De quel type de désintégration s'agit-il ?

1.3.2. Calculer l'énergie libérée par cette désintégration.

2. Désintégration radioactive du thallium 201

Le thallium 201 est radioactif, sa constante radioactive est $\lambda = 2,64 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

2.1. A partir de la loi de décroissance radioactive et, de la définition de la demi-vie $t_{1/2}$, établir la relation entre λ et $t_{1/2}$.

2.2. Calculer le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du thallium 201. Exprimer le résultat en heure.

3. Scintigraphie myocardique

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 . Cet examen nécessite l'injection par voie intraveineuse d'une solution d'activité A_0 de 83 MBq chez un individu de 75 kg . On visualise les premières images du coeur grâce à une gamma-caméra à scintillations quelques minutes seulement après l'injection.

3.1.1. Calculer le volume V de solution d'activité initiale A_0 à injecter à un patient de 75 kg .

3.1.2. A 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 $3,1 \times 10^{13}$.

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 8 milligramme de thallium par kilogramme de masse corporelle du patient.

Vérifier que la dose injectée au patient ne présente pas de danger.

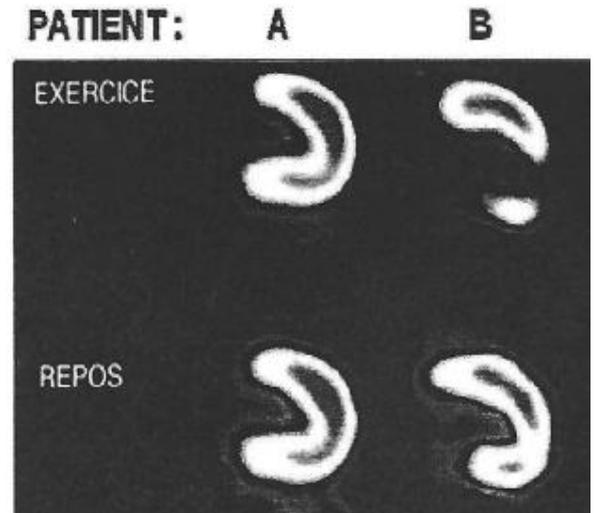
3.1.5. On estime qu'une deuxième série d'images est réalisable et exploitable tant que l'activité du traceur est supérieur à 75 % de l'activité initiale.

Déterminer la durée pendant laquelle on peut effectuer une deuxième prise de vues. Exprimer le résultat en heures.

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 coeur. Une autre série d'images est prise lorsque le patient est au repos. La figure ci-contre montre les résultats d'une scintigraphie du coeur effectuée sur deux patients différents A et B. Le patient A est en parfaite santé.

Les zones claires sur les images représentent les cellules saines du coeur qui fixent le thallium 201.

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



NOM :
Prénom :
Classe :

ANNEXE A1 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

II- Un engrais à utiliser avec modération : le nitrate d'ammonium

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_{max}				
État final réel	x_f				

