

**SESSION 2014**

# **BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE**

**PHYSIQUE-CHIMIE**

**STL**  
**Spécialité Biotechnologies**

**Temps alloué : 3 heures**

**Coefficient : 4**

**Une feuille de papier millimétré sera mise à la disposition des candidats.**

**La calculatrice (conforme à la circulaire N° 99-186 du 16-11-99) est autorisée.**

**Ce sujet comporte 12 pages.  
La page 12/12 est à rendre avec la copie.**

## IMAGERIE MÉDICALE ET HYGIÈNE EN MILIEU HOSPITALIER

Un étudiant en médecine passionné par ses études s'intéresse aux différentes techniques d'imagerie médicale. Il veut comprendre les propriétés des phénomènes physiques mis en jeu de façon à bien assimiler toutes leurs applications.

L'objectif de ce sujet est d'aborder dans une première partie la scintigraphie osseuse, puis dans une deuxième partie l'imagerie par résonance magnétique et enfin en troisième partie quelques considérations sur un produit de nettoyage courant des salles d'examens.

Ces trois parties (A, B, et C) sont indépendantes entre elles. Des annexes (A1, A2, ...) se situent après chaque partie et doivent être consultées afin de répondre à certaines questions. En fin de sujet, deux documents réponses (DR1 et DR2) sont à compléter et à rendre avec la copie, ainsi qu'une feuille de papier millimétré complétée.

- **Partie A : la scintigraphie osseuse (8,5 points).**
- **Partie B : l'imagerie par résonance magnétique (6 points).**
- **Partie C : l'ammoniaque, un produit nettoyant (5,5 points).**

## Partie A : la scintigraphie osseuse (8,5 points)

### A.1. Désintégration du noyau radioactif utilisé pour la scintigraphie

A.1.1. D'après l'annexe A1 page 4, pourquoi la caméra utilisée pour cette technique est-elle appelée « gamma caméra » ?

A.1.2. Donner la signification des nombres 42 et 99 pour le noyau du molybdène 99. Vérifier que ce noyau contient 57 neutrons. En utilisant le document de l'annexe A3 page 5 ci-après, expliquer pourquoi ce nucléide est radioactif.

A.1.3. Le nucléide  ${}_{42}^{99}\text{Mo}$  se désintègre en technétium  ${}_{43}^{99}\text{Tc}$  en émettant également une particule.

A.1.3.1. Écrire l'équation de la réaction de désintégration nucléaire du molybdène et identifier la particule émise en précisant les lois de conservation utilisées.

A.1.3.2. De quel type de radioactivité s'agit-il ? Préciser, en justifiant, si votre réponse est en accord avec les indications du document de l'annexe A3 page 5.

A.1.3.3. Le noyau  ${}_{43}^{99}\text{Tc}$  est également instable. Expliquer, à partir du document A3 page 5, quel type de désintégration est mis en jeu.

### A.2. Rayonnement $\gamma$

Lors de la désintégration précédente le technétium est obtenu dans un état excité. Il subit spontanément une transition de l'état excité vers l'état fondamental et émet un rayonnement  $\gamma$  d'énergie  $E = 141,0 \text{ keV}$ .

*Données :*

Énergie d'un photon :  $E = h \cdot \nu$  avec  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .

Relation entre la longueur d'onde et la fréquence d'une onde électromagnétique :  $c = \lambda \cdot \nu$   
avec  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$1,00 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$

A.2.1.1. À quel type d'ondes appartient le rayonnement  $\gamma$  ?

A.2.1.2. Vérifier que l'énergie du photon émis vaut  $2,26 \times 10^{-14} \text{ J}$ .

A.2.1.3. Calculer la fréquence  $\nu$  de l'onde associée en hertz (Hz).

A.2.1.4. En déduire sa longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide. Exprimer le résultat en mètre et picomètre.

A.2.2. Selon vous, parmi les termes suivants, quel est celui qui caractérise la situation physique étudiée : *absorption, décroissance radioactive, désintégration, désexcitation*.

A.2.3. Compléter le spectre des ondes électromagnétiques donné sur le document réponse DR1 page 12 à rendre avec la copie en plaçant les termes suivants : *rayonnement  $\gamma$ , ondes radio, rayonnements infrarouges et ultraviolets*.

### A.3. Décroissance radioactive

A.3.1. Définir la demi-vie  $t_{1/2}$  ou période radioactive d'un radioélément.

A.3.2. Rechercher sur le document de l'annexe A1 page 4 la demi-vie du technétium 99. Donner sa valeur en heure puis la convertir en seconde.

A.3.3. Des trois graphiques (a), (b) et (c) représentés en annexe A5 page 6, quel est celui qui illustre la loi de décroissance radioactive du radioélément ? Justifier votre réponse.

A.3.4. D'après le document A2 page 4, plus de 90 % des noyaux de technétium injectés sont désintégrés au bout de 25 heures. Justifier cette affirmation par la méthode de votre choix.

### A.4. Effets biologiques et protection

La préparation du produit radioactif utilisé pour la scintigraphie nécessite la mise en place de règles de sécurité qui tiennent compte de l'exposition aux rayonnements.

*Données :*

Énergie du photon  $\gamma$  étudié : 141,0 keV

1,00 eV =  $1,60 \times 10^{-19}$  J

La dose absorbée est le rapport de l'énergie absorbée par la masse irradiée.

La dose équivalente est le produit de la dose absorbée par un facteur de pondération.

A.4.1. En supposant que le nombre de photons  $\gamma$  émis pendant 7,0 h vaut  $1,5 \times 10^{13}$  et que le technicien en absorbe une fraction égale à 1,0 %, vérifier que l'énergie qu'il absorbe vaut  $3,4 \times 10^{-3}$  J.

A.4.2. Calculer la dose absorbée D en grays (Gy) pendant 7,0 h par le technicien si sa masse m vaut 70,0 kg.

A.4.3. En déduire la dose équivalente H en millisievert (mSv). Le facteur de pondération vaut 1 pour les rayons  $\gamma$ .

A.4.4. À partir de l'annexe A4 page 5, préciser la couleur de la zone dans laquelle travaille le technicien.

A.4.5. Indiquer au moins deux mesures de protection qui permettent de limiter les risques d'exposition dangereuse aux radiations.

## ANNEXES DE LA PARTIE A

La scintigraphie est une technique d'exploration du corps humain qui permet de diagnostiquer des maladies. Elle consiste à injecter un produit traceur radioactif qui se fixe temporairement sur certains tissus ou organes. Le produit radioactif est choisi en fonction de l'organe que l'on souhaite étudier (os, cœur, poumon...). Une fois fixé, le médecin mesure la radioactivité du produit sur l'organe ou le tissu concerné grâce à une caméra spéciale appelée gamma caméra. Le système informatique associé à la caméra permet de restituer sur un écran de détection, à base de matériau scintillateur (le plus souvent de l'iodure de sodium), l'image de l'organe.

Dans le cas de la scintigraphie osseuse, le produit traceur est composé de biphosphonates (molécules indiquées dans le traitement de l'ostéoporose) couplé au technétium 99m radioactif.

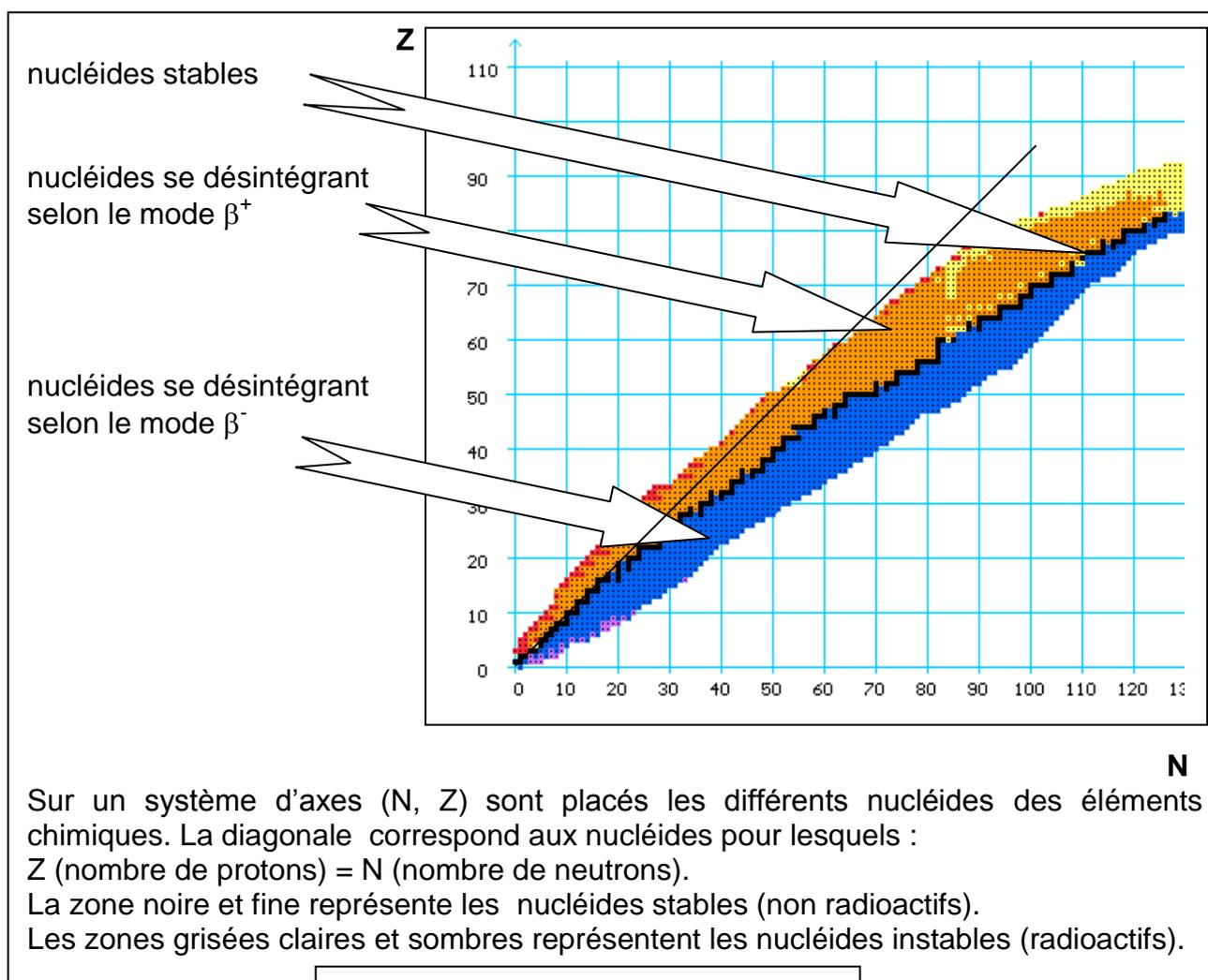
Le technétium 99m (ou technétium 99 métastable) noté  $^{99m}\text{Tc}$ , est obtenu dans un état excité et a pour formule  $^{99}_{43}\text{Tc}$  identique à celle du nucléide stable. Le technétium 99 métastable est un émetteur de rayons  $\gamma$ . Sa durée de demi-vie ou période radioactive vaut  $t_{1/2} = 6,00$  h. Il est obtenu par désintégration nucléaire du molybdène  $^{99}_{42}\text{Mo}$ .

### Annexe A1 – Principe de la scintigraphie



L'exposition radioactive lors d'une scintigraphie est comparable à celle de radiographies standards, elle est même souvent plus faible. L'exposition radioactive est située dans les limites de l'irradiation naturelle (cosmique, terrestre, corporelle). Plus de 90 % des noyaux de technétium injectés sont transformés au bout de 25 h. De ce fait, une scintigraphie n'est pas dangereuse pour l'organisme.

### Annexe A2 – Exemple d'image obtenue par scintigraphie



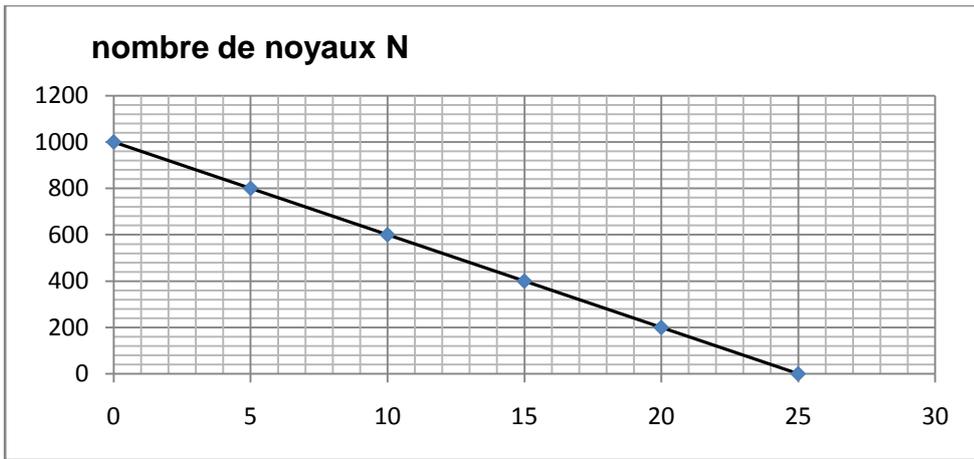
Annexe A3 – Diagramme (N, Z)

Le principe retenu en radioprotection est de maintenir l'exposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA "As Low As Reasonably Achievable"; qui se traduirait en français par « Aussi bas que raisonnablement possible »). Pour faciliter cette optimisation, les sites français exposés aux radiations ionisantes sont organisés en zones dont l'accès est plus ou moins restreint. Ces zones sont délimitées par les débits de doses suivants:

- **zone bleue** : d'environ  $2,5$  à  $7,5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  ;
- **zone verte** : de  $7,5$  à  $25 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  ;
- **zone jaune** : de  $25 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  à  $2 \text{mSv.h}^{-1}$  ;
- **zone orange** : de  $2$  à  $100 \text{mSv.h}^{-1}$  ;
- **zone rouge** :  $> 100 \text{mSv.h}^{-1}$ .

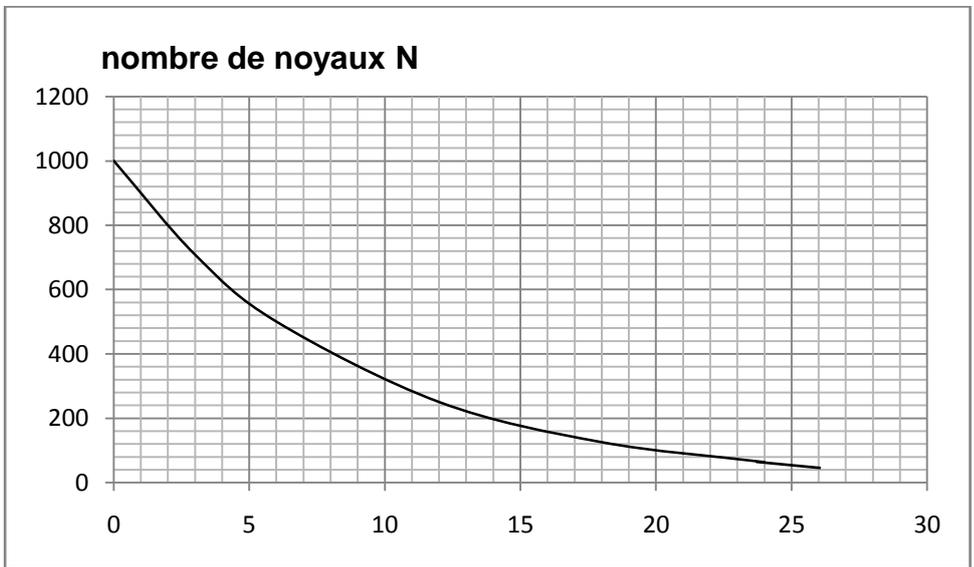
L'environnement naturel émet un rayonnement variant de  $0,2 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  à  $1 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ , avec une moyenne de  $0,27 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  (soit  $2,4 \text{mSv.an}^{-1} \cdot \text{habitant}^{-1}$ ). Le débit de dose dont on est certain qu'il produit des effets biologiques dangereux se situe à partir de  $1 \text{mSv.h}^{-1}$ , c'est-à-dire en « zone jaune ».

Annexe A4 – Délimitation des zones de sécurité



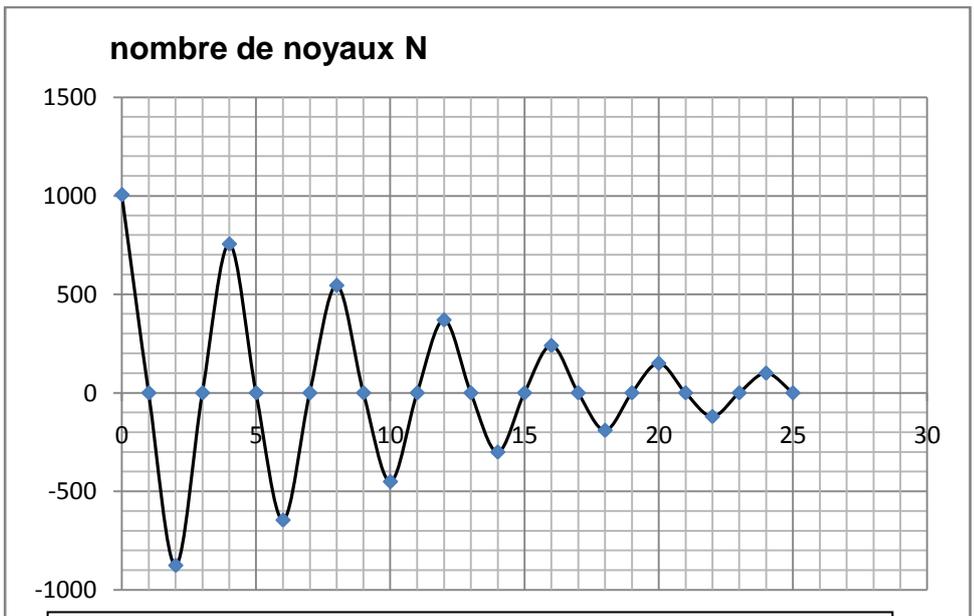
**Courbe (a)**

temps t (h)



**Courbe (b)**

temps t (h)



**Courbe (c)**

temps t (h)

**Annexe A5 – Propositions de graphiques illustrant la décroissance radioactive**

## Partie B : l'imagerie par résonance magnétique (6 points)

Une des techniques les plus performantes en imagerie médicale est l'imagerie par résonance magnétique (I.R.M.). Les images obtenues sont très précises, d'excellente qualité et de très grande sensibilité (on atteint actuellement une résolution de l'ordre du millimètre).

Cette technique reposant sur les propriétés magnétiques de la matière, afin de mieux l'assimiler, l'étudiant se penche tout d'abord sur les caractéristiques générales d'un champ magnétique. Il considère ainsi le champ magnétique terrestre.

### B.1 Les propriétés du champ magnétique terrestre

B.1.1. Comment peut-on mettre en évidence le champ magnétique terrestre ?

B.1.2. Comment appelle-t-on les courbes représentées sur l'annexe B1 page 8 ?

B.1.3. En complétant le document réponse DR2 page 12 à rendre avec la copie, représenter sur une de ces courbes une petite aiguille aimantée. On indiquera bien clairement la nature de chacun de ses pôles.

B.1.4. Les pôles géographiques et magnétiques correspondent-ils ?

B.1.5. L'intensité du champ magnétique terrestre  $B$  vaut  $4,7 \times 10^{-5}$  S.I. Quel est le nom de cette unité et quel est son symbole ?

### B. 2 Le principe de l'imagerie par résonance magnétique : IRM

*Données :*

vitesse des ondes électromagnétiques dans l'air :  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

constante de Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$

B.2.1. Peut-on négliger le champ magnétique terrestre devant le champ magnétique créé par un aimant ?

B.2.2. À partir de l'annexe B3 page 9, tracer sur papier millimétré la courbe  $v = f(B)$  en prenant pour échelle : 4 cm pour 1 T et 1 cm pour 10 MHz. Quel constat peut-on faire ?

B.2.3. Établir que la valeur de la fréquence du rayonnement électromagnétique qui sera utilisé pour l'IRM de 11,7 T est d'environ 491 MHz.

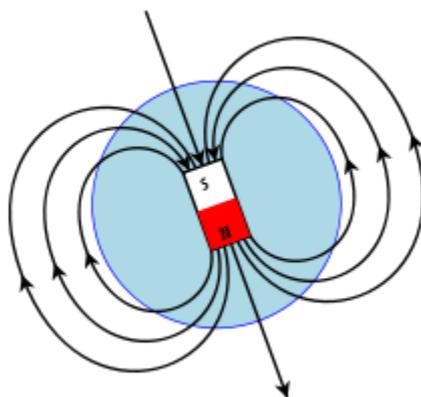
B.2.4. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de ce rayonnement électromagnétique.

B.2.5. Déterminer l'énergie associée à ce rayonnement. Exprimer cette énergie en joules puis en eV.

B.2.6. Quel est l'intérêt d'utiliser un électroaimant supraconducteur ?

**ANNEXES DE LA PARTIE B**

Le champ magnétique terrestre existe en tout point situé au voisinage de la Terre. L'origine de ce champ est encore controversée. On pense pouvoir l'attribuer à des mouvements de substances magnétiques qui composent le noyau terrestre. Le champ magnétique terrestre a, en première approximation, la même configuration que celle d'un aimant droit placé au centre de la Terre.

**Annexe B1 – Représentation du champ magnétique**

L'IRM est basée sur les propriétés magnétiques du noyau d'hydrogène présent dans les tissus biologiques.

La première étape d'une IRM consiste à placer le patient dans un champ magnétique intense obtenu avec un électroaimant supraconducteur. Les noyaux de ces atomes s'alignent dans l'axe de ce champ.

Puis, on crée une stimulation générée par une onde de radiofréquence déterminée qui entraîne une bascule de l'axe de ces noyaux.

Après l'arrêt de la stimulation, les atomes reviennent à leur état d'équilibre en restituant de l'énergie sous forme d'un signal, qui est capté et analysé.

**Annexe B2 – Principe de l'IRM**

Les IRM médicales utilisent généralement des champs magnétiques de 1,5 S.I. Le centre du C.E.A, NeuroSpin, inauguré en novembre 2006, spécialisé en neuro-imagerie cérébrale, est équipé de deux aimants de 3 et 7 S.I. Ce dernier, unique en France, permettra d'obtenir une sensibilité 4 fois supérieure à celle des IRM de 1,5 S.I. A terme, les équipes de NeuroSpin prévoient la conception et la réalisation d'un aimant d'une puissance à ce jour inégalée dans le monde : 11,7 S.I. La fréquence des ondes électromagnétiques qui permettent la résonance des protons doit être adaptée à la valeur du champ électromagnétique, comme le montre le tableau ci-dessous :

intensité B du champ magnétique (S.I)	0,5	1	2	4
fréquence $\nu$ des ondes E.M. (MHz)	21	42	84	168

#### **Annexe B3 – L'IRM à haut champ**

Pour produire un champ magnétique intense de plusieurs teslas, on utilise des électroaimants supraconducteurs refroidis à l'aide d'hélium liquide qui maintient une température de 4 K. Les conducteurs ont alors une résistance électrique nulle qui permet de faire circuler un courant d'une grande intensité (de 30 à 90 A) sans perte par effet Joule.

#### **Annexe B4 – L'électroaimant supraconducteur**

## Partie C : l'ammoniaque, un produit nettoyant (5,5 points)

L'hygiène des locaux d'examen d'imagerie nécessite l'utilisation de produits d'entretien. Parmi ceux-ci, les solutions aqueuses d'ammoniaque vendues dans le commerce sont utilisées après dilution comme produit nettoyant.

L'ammoniaque est une solution aqueuse obtenue par dissolution d'ammoniac  $\text{NH}_3$  gazeux dans l'eau. La solution obtenue a un caractère basique.

### C.1. Considérations acido-basiques

Données :

$$\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]) \text{ ou } [\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}] = 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{Produit ionique de l'eau : } K_e = [\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}] \times [\text{HO}^-_{(\text{aq})}] = 1,00 \times 10^{-14} \text{ à } 25^\circ\text{C}$$

C.1.1. Qu'est ce qu'une solution aqueuse ?

C.1.2. Donner la définition d'une base.

C.1.3. On donne le couple acide-base  $\text{NH}_4^+_{(\text{aq})} / \text{NH}_3_{(\text{aq})}$ . Écrire la demi-équation correspondante puis l'équation modélisant la réaction de l'ammoniac  $\text{NH}_3_{(\text{aq})}$  avec l'eau.

C.1.4. Le pH d'une solution aqueuse d'ammoniac vaut 11,0 à  $25^\circ\text{C}$ . Calculer la concentration molaire en ion oxonium notée  $[\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]$  de cette solution. En déduire la concentration molaire en ion hydroxyde notée  $[\text{HO}^-_{(\text{aq})}]$ .

C.1.5. Si on dilue dans l'eau cette solution aqueuse d'ammoniac, donner et justifier le sens d'évolution de son pH.

### C.2. Dilution

Sur l'étiquette d'une solution aqueuse de nettoyage contenant de l'ammoniac, il est indiqué que la concentration molaire en ammoniac apporté est de  $6,0 \text{ mol.L}^{-1}$ . Soit A cette solution.

C.2.1. Quel volume de solution aqueuse A faut-il prélever pour préparer 1,0 L de solution aqueuse B diluée de concentration molaire en ammoniac égale à  $3,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ? Développer votre raisonnement.

C.2.2. Décrire un protocole opératoire pour réaliser cette dilution. On précisera en particulier la nature de la verrerie utilisée. On pourra s'aider de schémas annotés.

C.2.3. L'étiquette portée par le flacon d'une solution aqueuse d'ammoniac est reproduit sur l'annexe C1 page 11. Donner la signification de deux des trois pictogrammes représentés.

## ANNEXE DE LA PARTIE C

**Ammoniaque**  
 $\text{NH}_3(\text{aq})$ , M = 17,03 g/mol, d = 0,92



Annexe C1 – Pictogrammes de l'ammoniaque

**DOCUMENT-RÉPONSE**  
**À RENDRE AVEC LA COPIE**

