

SESSION 2016

BACCALaurÉAT TECHNOLOGIQUE

PHYSIQUE-CHIMIE

Sciences et Technologies de Laboratoire

Spécialité Biotechnologies

Temps alloué : 3 heures

Coefficient : 4

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérents avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet et comporte 14 pages numérotées de 1 à 14.

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

**Ce sujet comporte 14 pages.
La page 14/14 est à rendre avec la copie.**

LE DIAGNOSTIC MÉDICAL

Dans l'antiquité, pour établir un diagnostic médical, seuls l'interrogatoire et un examen externe clinique étaient pratiqués. Aucun examen chimique, physique et biologique n'était, à cette époque, envisagé. L'examen clinique du patient malade par le praticien était basé sur les cinq sens de ce dernier.

À notre époque, un diagnostic médical par un médecin généraliste est toujours basé sur un questionnement. Seuls la vue, le toucher (palpation) et l'ouïe du médecin interviennent encore dans l'élaboration du diagnostic médical classique, abandonnant l'odorat et le goût. La médecine possède un arsenal de moyens techniques permettant de « voir » à l'intérieur du corps du patient ou d'accéder précisément à la nature bactériologique ou virologique d'une épidémie.

On vous propose d'étudier, à partir de trois cas cliniques différents, les domaines des sciences physiques et chimiques utiles aux principes de fonctionnement de ces moyens de diagnostic.

Ce sujet comporte trois parties :

Partie A : la radiographie par rayons X (6 points)

Partie B : l'examen par résonance magnétique nucléaire (7 points)

Partie C : l'étude virologique par la technique « Western Blot » (7 points)

Partie A : la radiographie par rayons X (6 points)

Un patient souffre d'une talalgie droite après effort (douleur au talon droit). Son médecin traitant lui prescrit une radiographie des talons.

Une radiographie par rayons X permet de visualiser le squelette et, par exemple, d'observer une fracture pour mieux la soigner. Elle permet également de détecter des tissus endommagés par une maladie : les radiographies des poumons, couramment pratiquées, donnent au médecin d'importantes informations sur l'état de santé du patient.

1. Les ondes électromagnétiques

1.1 Sur le document 1 page 14, le symbole λ est associé à la longueur d'onde. Donner l'unité de cette grandeur dans le « système international ».

1.2 Compléter le document 1 du document réponse de la page 14 à rendre avec la copie, afin de situer les domaines des différentes ondes électromagnétiques (rayons X, rayonnement visible, rayonnement infrarouge, rayonnement ultra-violet, rayons gamma).

2. Production de rayons X

La production de rayons X est réalisée à l'aide d'un tube de Coolidge dont l'anticathode est en rhodium (voir document A1 de l'annexe A page 4).

L'atome de rhodium a pour symbole ${}^{103}_{45}\text{Rh}$. Son spectre d'émission est présenté sur le document A1 de l'annexe A de la page 4.

2.1. Donner la composition du noyau atomique de rhodium.

L'énergie de la raie d'émission K_{β} , de l'anticathode au rhodium est $E_{K_{\beta}} = 22,81 \text{ keV}$.

2.2. Convertir cette énergie en joules.

2.3. Calculer la valeur de la longueur d'onde $\lambda_{K_{\beta}}$ associée à cette radiation.

2.4. Montrer à l'aide de l'annexe A2 page 5, que cette raie K_{β} est due à une transition électronique de la couche M vers la couche K.

2.5. À l'aide du document annexe A1 page 4, déterminer la valeur de l'énergie de la raie K_{α} .

2.6. La longueur d'onde $\lambda_{K_{\alpha}}$ de cette raie est-elle supérieure ou inférieure à la longueur d'onde $\lambda_{K_{\beta}}$? Justifier.

Données nécessaires :

Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Célérité de la lumière : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Conversion d'énergie : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

On donne la relation : $\lambda = \frac{h \times c}{E}$

3. Absorption des rayons X par les tissus organiques - qualité de l'image

3.1. En étudiant la radiographie du talon du patient (annexe A3 page 5), on distingue deux types de zone (claire ou sombre). Que matérialisent ces zones? Préciser le constituant qui absorbe le plus les rayons X, d'après cette radiographie.

3.2. Proposer une explication justifiant la différence d'absorption qui apparaît sur la radiographie.

Numéros atomiques : $Z_{\text{H}} = 1$, $Z_{\text{C}} = 6$, $Z_{\text{N}} = 7$, $Z_{\text{O}} = 8$, $Z_{\text{P}} = 15$, $Z_{\text{Ca}} = 20$

Les os contiennent essentiellement du phosphore (symbole P) et du calcium (symbole Ca). Les tissus « mous » sont plutôt constitués de carbone, hydrogène, oxygène et azote.

Le document A4 de l'annexe A page 5 donne la couche de demi-absorption (CDA) de différents tissus (graisse et muscle) en fonction de l'énergie des photons X qui les traversent.

La couche de demi-absorption (CDA) d'un tissu correspond à l'épaisseur pour laquelle la moitié du flux incident (ϕ_0) de rayons X a été absorbée.

3.3. Quel est le tissu corporel qui absorbe le plus les rayons X ? Justifier votre réponse.

Le coefficient d'absorption est donné par la relation : $\mu = \frac{\ln(2)}{\text{CDA}}$.

3.4. À l'aide du document A4 de l'annexe A page 5, calculer la valeur du coefficient d'absorption μ pour la graisse et pour le muscle sous un rayonnement de 40 keV.

Données :

On appelle ϕ_M le flux sortant pour le muscle et ϕ_G le flux sortant pour la graisse.

Le flux sortant ϕ a pour expression $\phi = \phi_0 \cdot e^{(-\mu \cdot d)}$

avec $d = 4,0$ cm, épaisseur du tissu traversé,

et $\phi_0 = 0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ à 40 keV, flux entrant dans le tissu.

3.5. Calculer la valeur des flux ϕ_G et ϕ_M puis, compléter le **document 2 du document réponse de la page 14**.

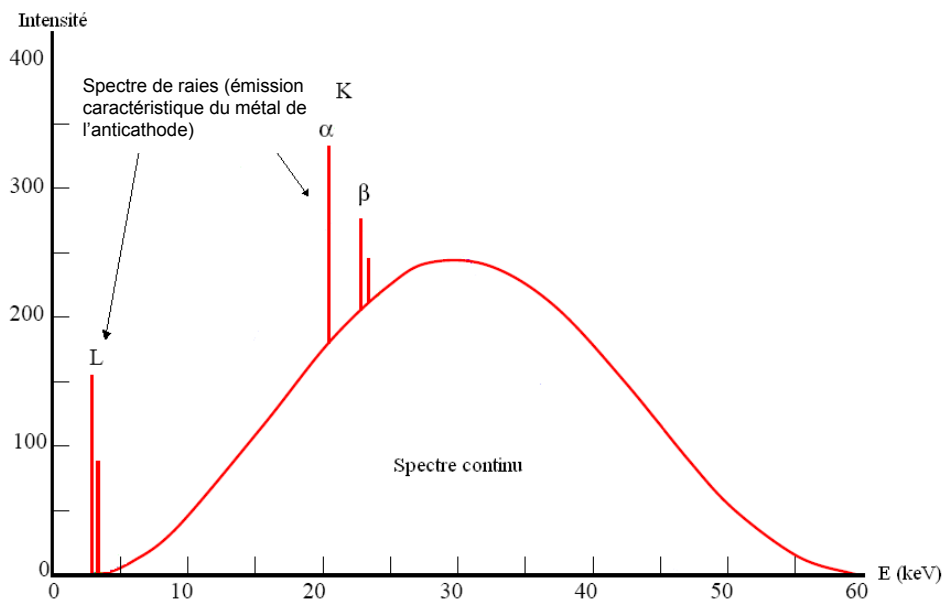
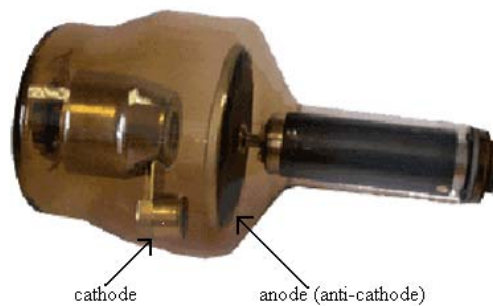
Pour obtenir des radiographies de bonne qualité, le contraste radiologique C doit être élevé. Il est défini pour le muscle et la graisse par la relation $C = \frac{\phi_G - \phi_M}{\phi_G + \phi_M}$.

3.6. En utilisant les données de l'annexe A5 de la page 5, calculer la valeur du contraste pour des photons X d'énergie 20 keV. Calculer également la valeur du contraste pour des photons d'énergie 60 keV.

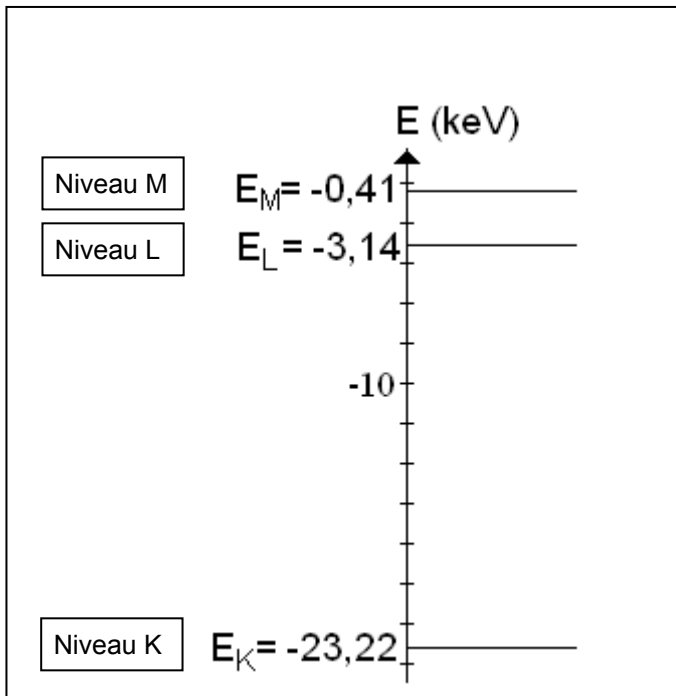
3.7. En déduire s'il faut utiliser des rayons de faible énergie (20 keV) ou de grande énergie (60 keV) pour différencier, au cours d'une radiographie X, le muscle de la graisse.

ANNEXE A – La radiographie par rayon X

Le **tube de Coolidge** : C'est un tube à vide muni de deux électrodes, une cathode négative et une anticathode positive. On applique une tension électrique U élevée entre les deux électrodes. La cathode est portée à haute température, éjectant des électrons, c'est l'effet thermoélectronique. Les électrons émis viennent percuter l'anticathode, celle-ci émettant alors des rayons X dont le spectre d'émission est donné ci-dessous.



Document A1 : spectre d'émission du tube de Coolidge (anticathode : rhodium)



Document A2 : diagramme énergétique simplifié de l'atome de rhodium



Document A3 : radiographie du talon droit de M. Durant

| E (keV) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| CDA graisse (cm) | 1,5 | 2,7 | 3,7 | 4,5 | 5,1 |
| CDA muscle (cm) | 0,9 | 1,7 | 2,4 | 3,0 | 3,3 |

Document A4 : CDA de tissus biologiques en fonction de l'énergie des photons X

| Tissus biologiques | | 20 keV | 60 keV |
|--------------------|------------------------------|--------|--------|
| Graisse | ϕ_G (W/m ²) | 0,079 | 0,26 |
| Muscle | ϕ_M (W/m ²) | 0,023 | 0,22 |

Document A5 : valeurs des flux sortants de 4,0 cm de tissus corporels en fonction de l'énergie des rayonnements

Partie B : l'examen par résonance magnétique nucléaire (7 points)

Le médecin d'un patient suspecte la présence d'une tumeur cérébrale et l'oriente vers un neurologue. Celui-ci lui prescrit un examen par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique).

1. Principe de l'IRM

1.1 En vous aidant du texte donné en annexe B1 page 8, donner les avantages et les inconvénients d'un examen IRM.

1.2 Citer trois sources différentes de champs magnétiques.

1.3 Quel type de source est utilisé pour l'IRM ?

1.4 À partir du document B1 de l'annexe B page 8, donner l'avantage de la supraconduction.

Dans un examen par IRM, le champ magnétique est créé par un solénoïde.

2. Champ magnétique créé par un solénoïde.

Les caractéristiques du solénoïde utilisé sont indiquées sur le document 3 page 14 (document réponse).

2.1 Nommer l'appareil, non représenté sur le schéma, permettant de mesurer un champ magnétique.

Lorsque l'interrupteur K est fermé, un courant électrique continu circule dans le solénoïde. Les petites aiguilles aimantées sur pivot prennent alors la direction et le sens indiqué sur le document 3 de la page 14.

2.2 Compléter, en justifiant votre raisonnement sur votre copie, **le document 3 du document réponse de la page 14** à rendre avec la copie en indiquant :

- a. la nature magnétique des faces du solénoïde (face nord et face sud)
- b. le vecteur champ magnétique \vec{B}_0 au centre O du solénoïde (sans se soucier de l'échelle).

Au cours d'une séance de travaux pratiques, on se propose d'étudier l'influence de l'intensité du courant électrique sur la valeur du champ magnétique créé en son centre (le point O). Le solénoïde est considéré comme long. Les résultats de l'expérience sont reportés dans le tableau du document B2 de l'annexe B page 8.

2.3 On rappelle que pour un solénoïde suffisamment long : $B_0 = \mu_0 \times \frac{N}{L} \times I$. On considérera que la perméabilité magnétique de l'air est la même que celle du vide μ_0 .

Préciser le nom des grandeurs N, L et I utilisées dans cette formule. Donner les unités de L et de I dans le système international.

On effectue avec une calculatrice une régression linéaire modélisant la courbe $B = f(I)$. On obtient les résultats suivants :

- ordonnée à l'origine $b = 1,42 \times 10^{-1}$ mT ;
- coefficient directeur de la droite modélisée $a = 1,57$ mT.A⁻¹ ;

2.4 Peut-on considérer que les résultats expérimentaux sont en accord avec la formule donnée en **2.3** ? Justifier la réponse.

Au cours de la même séance de travaux pratiques, grâce à leurs mesures, les élèves ont déterminé expérimentalement la perméabilité magnétique du vide μ_0 . Leurs résultats sont reportés dans le tableau du document B3 de l'annexe B page 8.

2.5 À l'aide de la calculatrice, indiquer la valeur moyenne de la perméabilité magnétique $\mu_{0(\text{moyen})}$ de cette série de mesures.

L'écriture du résultat du mesurage a pour expression $\mu_0 = \mu_{0(\text{moyen})} \pm t_n \cdot \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$

avec t_n coefficient de Student (document B4 de l'annexe B page 8),

n nombre de mesures effectuées,

σ_{n-1} écart type expérimental ayant pour valeur $3,22 \times 10^{-8}$ U.S.I.

2.6 À l'aide de l'annexe B4 page 8, calculer la valeur de l'incertitude associée au mesurage de μ_0 , avec un niveau de confiance de 95 %.

2.7 Sachant que la valeur théorique est $\mu_{0\text{théo}} = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m.A⁻¹, conclure sur la mesure effectuée.

ANNEXE B- L'examen par résonance magnétique nucléaire

Cette technique nécessite des aimants puissants, lourds, encombrants et très chers car le prix des appareils est compris entre 76 000 et 3 000 000 euros [...].

[...]Appareillage économe en énergie (du fait de la très faible résistance des bobines supraconductrices, l'effet Joule est minime) par rapport aux autres appareillages d'imagerie médicale, l'IRM visualise avec une grande précision de nombreux organes tels que le cerveau, la colonne vertébrale, les articulations et les tissus mous.

D'une grande précision anatomique, cette technique est sans danger pour le patient. L'absence d'injection de traceurs radioactifs est un des grands avantages de cette méthode d'imagerie médicale. Grâce à des agents de contraste non radioactifs, les plus petites tumeurs, les plus petits angiomes ou accidents vasculaires peuvent être décelés [...]

[...] Pour cela, le patient doit être maintenu dans un tube étroit et bruyant (l'intensité sonore est corrélée avec l'augmentation de la valeur des champs magnétiques, les contrastes sont plus élevés avec des champs magnétiques intenses). L'examen peut s'avérer long (une heure) et est contre-indiqué à des personnes claustrophobes et en cas de présence d'un corps métallique étranger à l'intérieur du corps.

D'après : <http://www.doctissimo.fr/html/sante/imagerie/irm.htm>

Document B1 : l'IRM en France

| | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I (A) | 0,00 | 0,51 | 1,02 | 1,45 | 1,98 | 3,20 | 3,78 | 4,25 |
| B (mT) | 0,00 | 0,80 | 1,61 | 2,28 | 3,12 | 5,04 | 5,95 | 6,69 |

Document B2 : influence de l'intensité du courant électrique circulant dans le solénoïde sur la valeur du champ magnétique B créé en son centre

| | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| μ_0 (T.m.A⁻¹) | 1,23×10 ⁻⁶ | 1,20×10 ⁻⁶ | 1,31×10 ⁻⁶ | 1,25×10 ⁻⁶ | 1,28×10 ⁻⁶ | 1,27×10 ⁻⁶ | 1,24×10 ⁻⁶ | 1,23×10 ⁻⁶ | 1,25×10 ⁻⁶ |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

Document B3 : résultats de la perméabilité magnétique du vide obtenus par le groupe en séance de travaux pratiques

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nombre de mesures (n) | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | ... | 15 | ... | 30 |
| t_(95%) | 4,3 | 3,2 | 2,8 | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | | 2,1 | | 2,0 |
| t_(99%) | 9,9 | 5,8 | 4,6 | 4,0 | 3,7 | 3,5 | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3,1 | | 3,0 | | 2,8 |

Document B4 : valeur du coefficient de Student en fonction du nombre de mesures et de l'intervalle de confiance

Partie C : l'étude virologique par la technique « Western Blot ». (7 points)

Données nécessaires :

Masse molaire d'éléments chimiques :

$$M_{(H)} = 1,0 \text{ g.mol}^{-1} \quad M_{(C)} = 12,0 \text{ g.mol}^{-1} \quad M_{(N)} = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M_{(O)} = 16,0 \text{ g.mol}^{-1} \quad M_{(F)} = 19,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

Couples acido-basiques : $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$
 $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$
 $\text{TrisH}^+/\text{Tris}$ (pKa = 8,1)

La technique « Western Blot » permet la détection d'anticorps anti-VIH, basée sur la caractérisation d'anticorps contre chacune des protéines virales.

En vue de confirmer la séropositivité ou d'observer l'évolution des anticorps du patient, cette méthode a été appliquée à différentes dates. Les résultats de l'analyse, document C1 de l'annexe C page 12, montrent que le patient n'est finalement pas infecté par ce virus.

Cette technique est utilisée, lors d'une recherche virologique du VIH, pour confirmer le résultat obtenu par un test habituel qui s'est révélé positif.

Dans le cadre de poursuite d'études dans le domaine des biotechnologies, on peut être amené à utiliser ce procédé d'identification (sur des substrats moins dangereux).

On s'intéressera à quelques aspects techniques intervenant dans la méthode « Western Blot ».

Le document C2 de l'annexe C page 12 donne l'organigramme des différentes étapes de cette technique.

1. Préparation de la solution tampon

Les solutions tampon sont très souvent utilisées en biochimie. Leur pH varie peu lors d'une addition modérée d'acide ou de base, ou lors d'une dilution. La préparation de la solution est donnée dans le document C3 de l'annexe C page 12.

1.1 Rappeler la définition d'une espèce acide.

1.2 a) Rappeler la relation liant le pH d'une solution à la concentration en ion oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ pour une solution diluée.

On admet que cette relation est valable pour la solution d'acide chlorhydrique utilisée.

b) Déterminer le pH de cette solution.

On donne la réaction acido-basique qui a lieu lors de la préparation de cette solution tampon :

$$\text{Tris} + \text{H}_3\text{O}^+ = \text{TrisH}^+ + \text{H}_2\text{O}$$

1.3 Montrer, à partir du document C3 de l'annexe C page 12, que la masse molaire de la molécule appelée « Tris » est $149,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

1.4 La réaction étant considérée comme totale, déterminer les quantités finales en TrisH^+ et en Tris exprimées en moles.

1.5 Calculer alors les concentrations finales de ces deux espèces.

1.6 Sachant que le pH de cette solution tampon est donné par la relation :

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{Tris}]}{[\text{TrisH}^+]},$$

vérifier que la valeur du pH de la solution ainsi préparée est $\text{pH} = 7,8$.

2. Électrophorèse

Une fois les protéines dénaturées par le SDS (dodécylsulfate de sodium), elles sont placées en milieu basique et prennent une forme anionique. Elles sont déposées dans des puits creusés dans un gel d'agarose prévus à cet effet.

Des électrodes, en contact avec le gel sont ensuite reliées à une source de tension continue. Un schéma de l'électrophorèse est donné dans le document C4 de l'annexe C4 page 13.

2.1 Rappeler la nature des porteurs de charge circulant dans les métaux puis dans le gel d'agarose.

2.2 Attribuer pour les bornes du générateur A et B, la polarité (+ ou -) afin que les protéines puissent migrer dans le sens indiqué. Justifier la réponse.

2.3 À l'aide de l'affichage de l'appareil du document C5 de l'annexe C page 13, calculer la puissance électrique fournie par le générateur.

2.4 En déduire la valeur en joules de l'énergie électrique fournie par le générateur sachant que la durée du processus de séparation des protéines est de 56 minutes.

3. Transfert sur une matrice polymère

Une fois l'électrophorèse effectuée, les protéines fixées sur le gel, sont ensuite transférées grâce à un générateur électrique sur un polymère de masse molaire $M_p = 17,2 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$.

3.1 Rappeler la définition d'un polymère et du degré de polymérisation (n).

3.2 Sur le **document 4 du document réponse page 14** à rendre avec la copie, entourer un motif de ce polymère.

3.3 Après avoir calculé la masse molaire de ce motif, montrer que l'indice de polymérisation du polymère étudié est $n = 269$.

4. Identification des protéines par des anticorps

Les protéines du virus (antigènes), une fois déposées sur le polymère, sont mises en présence d'anticorps spécifiques au virus recherché, synthétisés par un animal (lapin). Après interaction antigène-anticorps, la matrice polymère est rincée, et mise en présence d'anticorps « anti-lapin » portant un traceur. Ces étapes sont schématisées sur le document C6 de l'annexe C page 13. Le traceur permet de visualiser les bandes observées sur le document C1 de l'annexe C page 12.

Pour des raisons de coût, on ne fabrique pas des anticorps spécifiques à chaque virus portant ce traceur.

Les premiers traceurs étaient radioactifs et portaient un noyau d'iode 125 ou de tritium (hydrogène 3). La révélation se faisait avec une plaque photographique et durait quelques heures avec les traceurs incluant un noyau d'iode 125 et quelques semaines pour ceux marqués au tritium.

Données :

Iode 125 : $^{125}_{53}\text{I}$

Extrait de la classification périodique : $_{50}\text{Sn}$, $_{51}\text{Sb}$, $_{52}\text{Te}$, $_{53}\text{I}$, $_{54}\text{Xe}$, $_{55}\text{Cs}$, $_{56}\text{Ba}$

4.1 Donner la composition d'un noyau d'iode 125.

4.2 La radioactivité de l'iode 125 est de type β^+ . Indiquer le nom et le symbole de la particule β^+ .

4.3 Écrire l'équation de désintégration nucléaire du noyau d'iode 125. Préciser les règles de conservation utilisées.

Le temps de demi-vie (appelé aussi période radioactive) de l'iode 125 est de 59 jours. Celle du tritium est de 12,3 ans.

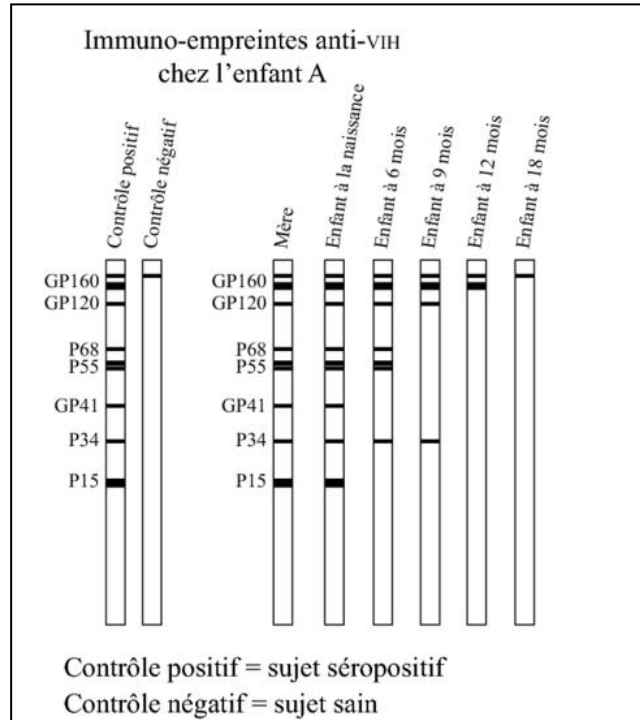
4.4 Rappeler la définition du temps de demi-vie.

Ce sont des rayons γ qui sont à l'origine de la révélation photographique avec la méthode au tritium.

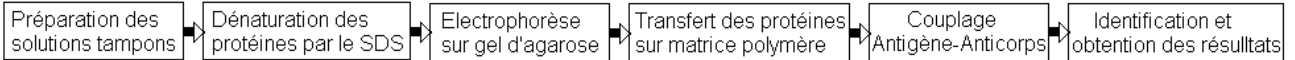
4.5 Quelle en est leur origine ?

4.6 Justifier le fait que la révélation grâce aux noyaux d'iode 125 soit plus rapide que dans le cas du tritium.

ANNEXE C - L'étude virologique par la technique « Western Blot »

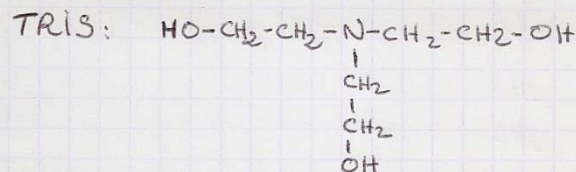


Document C1 : résultats virologiques de l'enfant A par la technique « Western Blot »



Document C2 : organigramme de la technique Western Blot.

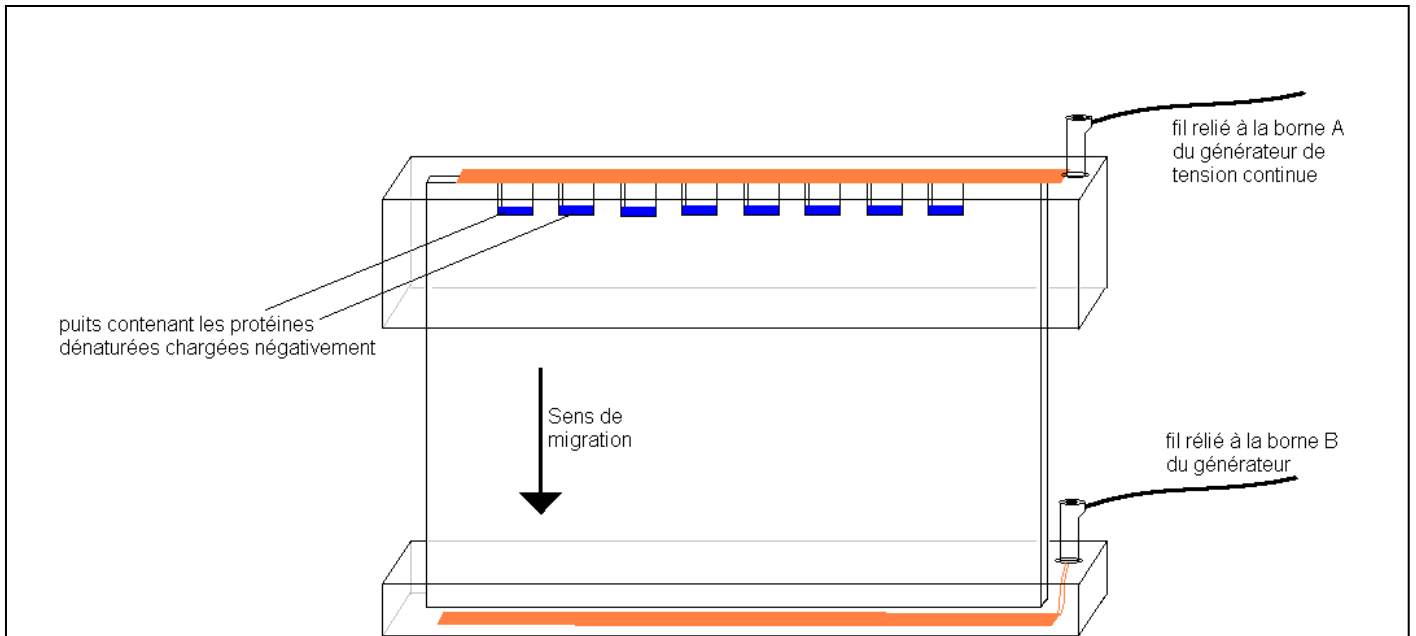
Préparation de la solution tampon TRIS/HCl.
pour électrophorèse



Dans une fiole de 500 mL

- Introduire 418 mL d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+\text{Cl}^-$) à $0,40 \text{ molL}^{-1}$
- Rajouter 37,25g de TRIS
- Après dissolution, compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

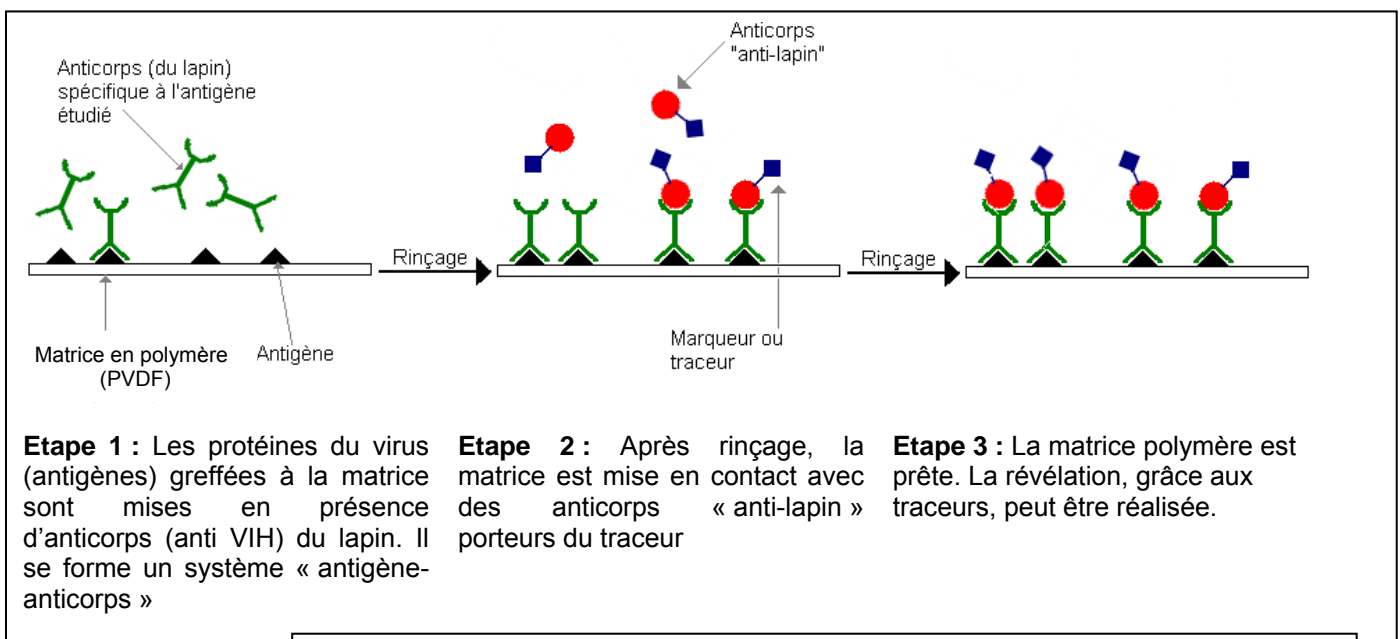
Document C3 : extrait d'un cahier de préparation d'un laborantin



Document C4 : schéma simplifié d'une électrophorèse sur agarose



Document C5 : générateur d'électrophorèse (modèle Consort EV 243)



Document C6 : les étapes en vue de la détection des antigènes.

**DOCUMENT RÉPONSE
À RENDRE AVEC LA COPIE**

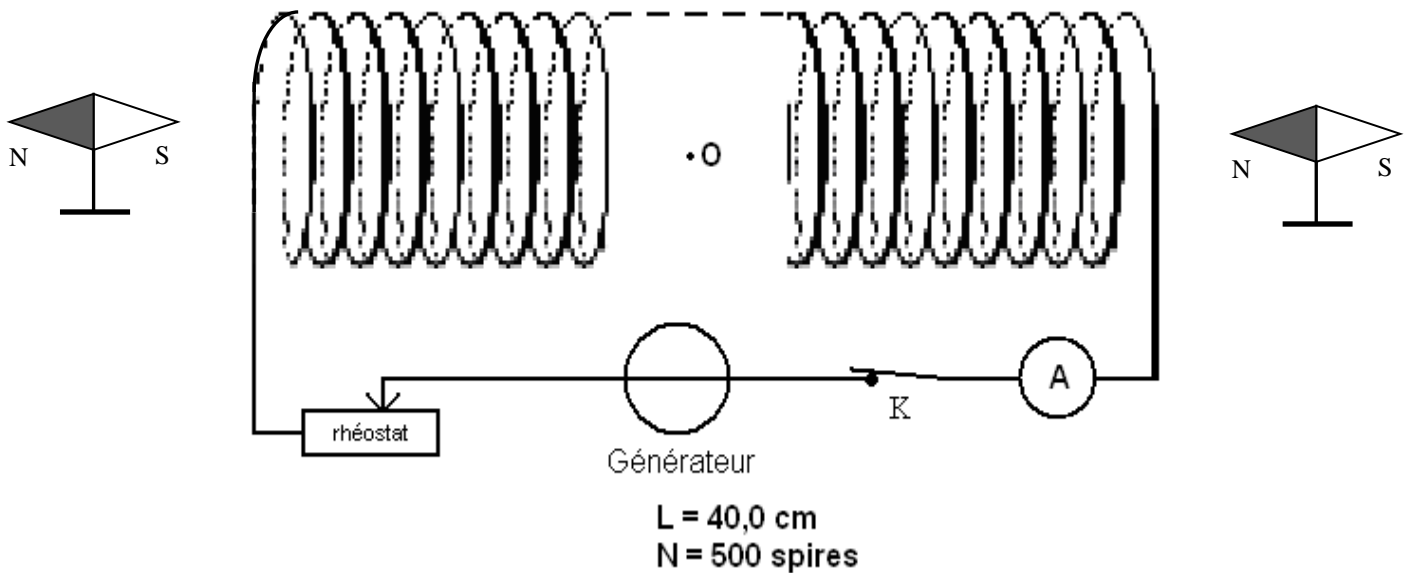
Document 1 : question **A.1.2.** (Nota bene : l'échelle n'est pas respectée et les limites indiquées sont approximatives).



Document 2 : question **A.3.5.**

| Tissus biologiques | | unités | Valeurs à 40 keV |
|--------------------|----------|--------|------------------|
| Graisse | μG | | |
| | ϕG | | |
| Muscle | μM | | |
| | ϕM | | |

Document 3 : question **B.2.2.**



Document 4 : question **C.3.2.**

