

## Récap des réponses des profs depuis 2016

Idée piquée à l'UE3b qui veut sa dédicace du coup donc dédicace à l'UE3b (love you ma p'tite Amélie)

Pr. Darcourt :

### Particules, ondes et atomes :

- 1) Lorsque vous parlez de masse relativiste, vous dites que si un électron va à  $0,65c$  alors sa masse relativiste est de  $1,15 m_0$  (diapo 11). Un étudiant nous a fait remarquer que l'an dernier vous disiez que c'était pour une vitesse de  $0,5c$  que sa masse relativiste était de  $1,15 m_0$ . En vérifiant votre diapo de l'an dernier et en faisant le calcul je trouve la même chose que l'étudiant. Est-ce une possible erreur dans votre diapo ?

Effectivement c'est  $0,5 c$  qui donnent  $1,15 m_0$  (ou  $0,65$  donne  $1,32 m_0$ ). C'est une erreur de ma part.

- 2) On nous demande pourquoi la masse molaire atomique qui correspond à la masse d'une mole d'atomes s'exprime en grammes et non pas en gramme/mole ?

Pourquoi pas. Je ne sais pas ce que cela apporte.

- 3) Un élève nous demande d'où vient la formule du rayon d'un atome, il veut savoir d'où viennent les composantes ce à quoi Margot et moi n'avons pu répondre :  
 $R_n = n^2 \times 0,5 \times 10^{-10} \text{ m.}$

Cela se démontre en considérant que le périmètre de l'orbite doit permettre de « loger »  $n$  longueurs d'onde de l'électron. Je ne crois pas utile d'en dire davantage.

- 4) A propos de la dualité onde particule, les élèves se demandent lorsque l'on parle des photons sans faire référence à cette notion de dualité peut-on les considérer comme des particules ou seulement un rayonnement électromagnétique ? De plus dans un de vos item: «un faisceau de photons constitue un rayonnement particulaire" est compté faux.

Les photons sont des rayonnements électromagnétiques et pas des particules

- 5) Pourquoi la charge de l'électron n'est pas –  $1,602.10^{-19} \text{ C}$

Oui l'idée était de parler de la valeur absolue de la charge, mais formuler ainsi, il convient de mettre un signe moins.

- 6) « Le nombre de masse A est égal à l'entier le plus proche de la masse atomique exprimée en g. » Puis dans le cours sur le noyau il est écrit « A = valeur entière la plus proche de la masse atomique si exprimé en u »  
Voilà mon explication : « masse atomique si exprimé en u » donc si on reformule ça donne -> masse de l'atome exprimé en u donc on parle -> d'unité de masse atomique

C'est bien cela. Les élèves trouvent dérangeant d'utiliser le terme masse atomique qui leur fait plutôt penser à masse molaire atomique qui devrait s'exprimer en g qui devrait s'exprimer en g.

1- Particules, ondes et atome


1.2- Particules matérielles

12.1- L'électron ( $e^-$ )  
Synonymes: électron négatif ou négaton (rayonnement cathodique d'un tube RX, particule  $\beta^-$  de certains transformations radioactives)

- Masse au repos  
 $m_e = 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ g} = 0,548 \cdot 10^{-3} \text{ u} \approx 1/2000 \text{ u} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ u}$
- Masse relativiste  
vitesse non-négligeable par rapport à  $c \rightarrow$  particule relativiste  
 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$  exemple:  $v = 0,5 c \rightarrow m = 1,15 m_0$
- Charge  
charge  $e^- = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Remarque: charge d'1 mole  $e^- = N \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 96000 \text{ C} = 1 \text{ Faraday}$

1.2- Particules matérielles  
1.3- Rayonnements électromagnétiques  
1.4- Dualité onde-particule  
1.5- Structure électronique de l'atome



### Interactions rayonnement/matière :

- 1) Vous avez introduit une nouvelle notion qu'est le rendement de fluorescence (diapo 15). Vous dites que l'émission Auger est plus probable pour les atomes légers. Nous avons du mal à comprendre pourquoi car les atomes légers sont composés de moins d'électrons que les atomes lourds. Ce qui nous aurons fait penser que la probabilité était plus élevée pour les atomes lourds. Est-il possible d'avoir des précisions sur ce sujet ?

Je n'ai pas d'explication satisfaisante à vous apporter. C'est un fait. Il est vrai qu'intuitivement plus il y a d'électrons et plus on pourrait penser qu'il y ait d'électrons Auger. Il ne faut cependant pas oublier, que plus l'atome a d'électrons plus ceux-ci sont fortement liés.

- 2) Une étudiante a du mal à comprendre la notion d'excès d'énergie lors d'une ionisation. Voici ces questions : "Pourquoi dit-on que l'atome est en excès d'énergie après une ionisation ? Une étudiante comprend que l'atome est instable car il a perdu un électron mais ne comprend pas pourquoi on parle d'excès d'énergie car ce surplus s'est fait emporter par ce dernier en dehors de l'atome. De même elle a du mal à comprendre d'où provient le photon de fluorescence lors qu'un électron libre arrive sur l'orbitale lors du réarrangement pour que l'atome redevienne stable. "  
Nous lui avons répondu : « - Lors d'une ionisation, lorsque le photon arrive sur l'électron une partie (pas tout) de l'énergie est emportée par ce dernier  $h\nu = T + |W_i|$ .  $h\nu$  représente l'énergie du photon,  $T$  représente l'énergie cinétique du photon,  $|W_i|$  représente l'énergie qu'il faut pour ioniser l'électron (et c'est cette énergie qui deviendra cet excès car il reste sur l'atome) - Lorsqu'un électron libre revient sur l'orbitale c'est encore cet excès d'énergie (qui provient du photon qui a servi à ioniser) qui va être restitué en photon. Comme si l'électron remplace le surplus pour reprendre sa place » Confirmer ou infirmer vous cette réponse ?

Votre explication est parfaite

- 3) La question qui revient très souvent est : peut-on considérer que l'effet photo-électrique et l'expulsion d'un électron de Auger soit en réalité le même phénomène ? Puisque dans les deux cas, il y a l'expulsion d'un électron sauf que dans l'effet photoélectrique il est expulsé par un photon incident de la matière alors que pour l'électron de Auger, il est expulsé par un photon de fluorescence permettant le retour à l'état stable de l'atome. Comme seul le contexte diffère, peut-on considérer qu'il s'agit du même phénomène ?

Oui on peut.

- 4) Et si on considère que seul le contexte change pourquoi la probabilité d'avoir un électron de Auger est plus forte pour les éléments avec un numéro atomique faible alors que l'effet photo-électrique est plus probable chez les éléments lourds ?

Je n'ai pas l'explication, je prends cela comme un résultat expérimental.

- 5) Existents-ils des rayons X et gamma avec une énergie inférieure à 13,6 eV ? Ce à quoi j'ai répondu qu'effectivement de tels rayons existent, ils ne sont juste pas considérés comme ionisants. Pouvez-vous confirmer cela ?

J'ai montré le spectre des rayonnements électromagnétiques à plusieurs reprises. Ce sont tous des rayonnements électromagnétiques en effets. Mais leur dénomination (X ou gamma) dépend de leur origine (tube à Rx ou noyau radioactif) et de leur énergie. Les X et gamma démarrent à partir d'un keV approximativement. Donc forcément ionisants

6) Le même étudiant me demande si les rayons X sont toujours considérés comme ionisants.

Oui, cf supra.

7) L'effet Compton est-il complètement indépendant de la matière ? En effet, le numéro atomique n'intervient pas dans la formule mais vous auriez précisé en cours qu'il était « quasiment indépendant ». Les étudiants me demandent s'il l'est complètement.

Il est effectivement « quasi indépendant », en effet sa probabilité ne dépend pas du Z, mais vous avez peut-être remarqué que sur les courbes, ce n'est pas strictement identique selon qu'il s'agit d'eau ou de plomb.

8) Considérez-vous que les photons X et les photons de fluorescence sont des synonymes ?

Les RX obtenus par collision sont des photons de fluorescence (mécanisme de réarrangement) mais tous les photons de fluorescence ne sont pas de RX (origine et énergie cf plus haut)

9) A la diapo 18 vous dites que le coefficient massique d'atténuation  $\mu \rho$  ne dépend pas de l'état milieu. Mais à la diapo 30 (sur le graph) on peut voir que le coefficient d'atténuation dépend du milieu (Z). Les étudiants (et nous-même) ont une incompréhension à ce niveau car les diapos semblent se contredire.

Diapo 18 : L' « état du milieu (compression, densité ...) » ne signifie pas la nature du milieu (son Z). Autrement dit la probabilité d'effet photoélectrique dépend bien du milieu (Z), mais  $\mu \rho$  est indépendant, pour un milieu donné, de son état de compression.

2- Interactions des rayonnements avec la matière

2.3.1- Loi d'atténuation des photons dans la matière

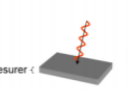
2.3.1.2- Différentes expression de  $\mu$

- $\mu$  = coefficient linéique d'atténuation:
  - Probabilité d'interaction par unité de longueur;
  - Dimension [ $L^{-1}$ ] (par exemple  $cm^{-1}$ );
  - Spécifique du milieu et de l'énergie des photons;
  - Dépend de l'état du milieu (compression, densité...).
- $\frac{\mu}{\rho}$  = coefficient massique d'atténuation:
  - Ne dépend pas de l'état du milieu (compression, densité ...)
  - Dimension [ $L^2 M^{-1}$ ] (par exemple  $cm^2 g^{-1}$ )
  - Masse surfacique:  $\frac{m}{s} = \rho x$  plus facile à mesurer
  - $\rho = \frac{m}{vol} = \frac{m}{Sx} \Rightarrow \rho x = \frac{m}{s}$

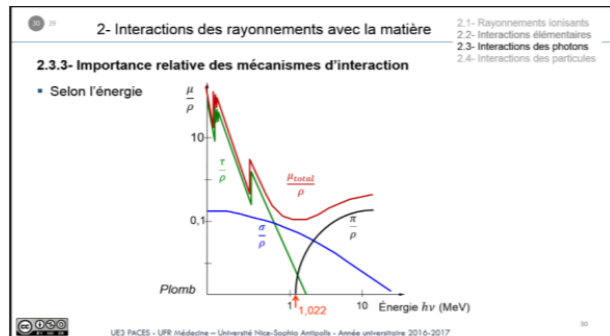
$N(x) = N(0)e^{-\mu x}$

$x$  = épaisseur difficile à mesurer

$N(x) = N(0)e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x}$



UE3 PACES - UFR Médecine - Université Nice-Sophia Antipolis - Année universitaire 2016-2017



## Rayons X :

- 1) Dans votre cours sur les rayons X, vous dites que le courant anodique dépend du courant de chauffage et que le flux énergétique dépend du courant anodique. Ainsi, peut-on considérer que le flux énergétique dépend du courant de chauffage ?  
De même, peut-on dire qu'une modification du courant de chauffage (et donc du milli-ampérage) entraînera une modification du spectre des rayons X ?

Le courant anodique  $i$  dépend de la température du filament qui dépend elle-même de  $I_c$  le courant de chauffage. Donc, en effet,  $i$  est lié à  $I_c$ , mais de manière non linéaire.

Le flux dépend linéairement de  $i$  et non-linéairement de  $I_c$ .

En effet, une modification de  $I_c$ , modifiant  $i$  modifie le spectre.

- 2) Les étudiants nous demandent si vous différencier les unités du Volt et du eV lors d'une tension ou de l'énergie cinétique des électrons. Nous leur avons répondu que OUI mais une diapo (18) nous a mis le doute. Vous écrivez que la tension  $U = 90 \text{ keV}$ . Est-ce que vous différencier les unités malgré que leurs valeurs soient numériquement égale ?

Vous avez parfaitement raison. Je n'aurais jamais dû écrire  $U=90\text{keV}$  ! (C'est une erreur de frappe que j'ai maintenant corrigée).

- 3) La formule  $r = \varphi/P$  pourrait nous faire penser que la puissance consommée est inversement proportionnelle au rendement. Cependant, une augmentation de  $P$  (induit par une augmentation de  $U$ ) devrait théoriquement s'accompagner d'une augmentation du rendement (car  $r = KZU$ ). Si on multiplie  $U$  par 2 par exemple, la puissance consommée sera doublée, tout comme le rendement. Ainsi, quelle est la relation entre la puissance consommée ( $P$ ) et le rendement ( $r$ ) ? Sont-ils inversement proportionnels ou bien proportionnels ?

Je crois que le biais est qu'en disant ça on considère implicitement  $\varphi$  comme constant. Ce qui n'est pas le cas. Si  $U$  double,  $P$  double, mais  $\varphi$  est multiplié par 4 d'où un rendement multiplié par deux.

- 4) A la diapo 13 vous exprimez  $q$  (la charge) en eV. Nous nous demandons pourquoi elle n'est pas exprimée en Coulomb ?

En effet la quantité  $q$  n'est pas la charge de l'électron mais l'énergie cinétique acquise par un électron sous une tension de 1 volt.

13 21

### Rayons X

1- Interaction des  $e^-$  avec la matière  
2- Production des rayons X  
3- Spectre des rayons X  
4- Caractéristiques d'exposition  
5- Imagerie radiologique  
6- Historique

---

#### 2.3- Haute tension accélératrice des électrons ( $U$ )

- $U = 50 \text{ à } 150 \text{ kV}$
- Responsable de l'énergie cinétique  $T$  des électrons.  
Comme  $T = q \times U$  et  $q = 1 \text{ eV}$

$$T [\text{eV}] = U [\text{V}]$$

L'énergie cinétique des  $e^-$  du tube exprimée en  $\text{eV}$  est numériquement égale à la haute tension exprimée en  $\text{V}$ .

*Exemple: pour  $U = 100 \text{ kV}$ ;  $T = 100 \text{ keV}$*

### Radiobiologie et radioprotection :

- 1) A un des derniers tutorats, nous avons fait tomber l'item suivant : « La loi de Bergonié et Tribondeau énonce que la radiosensibilité des cellules augmente avec leur capacité de division mais diminue avec leur capacité de différenciation » Nous l'avons compté juste, cependant plusieurs étudiants nous ont fait remarquer qu'une cellule souche par exemple qui possède la capacité de se différencier serait plus radiosensible car elle n'est pas différenciée justement. Pour eux, il serait plus juste d'écrire : « la radiosensibilité des cellules augmente avec leur capacité de division mais diminue avec la différenciation » Le terme capacité possède donc-t-il son importance ?

En effet c'est cette dernière formulation qui est la plus juste (c'est d'ailleurs celle du cours).

- 2) CCB QCM 21 item B (Radiobiologie)  
B) Les ERO provoquent plus de dégâts que les peroxydes à cause de leur durée de vie plus longue  
Nous avons compté juste cet item et vous n'avez émis aucune rectification, cependant plusieurs étudiants ont compris le fait que les ERO sont des peroxydes et n'ont pas compris la nuance entre les 2 si elle existe. Pouvez-vous réexpliquer la différence entre les ERO (qui provoquent beaucoup de dégâts) et les peroxydes (provoquant moins de dégâts) ?

Question délicate, car la frontière entre les deux est floue en réalité. Je ne suis pas chimiste, mais ma compréhension des peroxydes est que ce sont des composés comportant 2 oxygènes qui sont instables. Ils peuvent être radicalaires ou non. Les ERO regroupent des radicaux libres et des espèces non radicalaires. Ce sont ces dernières qui font principalement la différence en ayant une durée d'action plus prolongée.

- 3) Explication de l'item A du QCM 19 sur Tchernobyl (#LeFameux) du concours 2017 :

Item A : « La conséquence essentielle pour les pompiers a été la survenue de nombreux cancers » (faux). Cet item relève d'une compréhension générale de la radiobiologie. Il devrait être clair pour tout le monde que la conséquence principale d'une irradiation de ce niveau est un syndrome aigu et non la survenue tardive de cancers (principalement des effets cellulaires létaux d'emblée et très peu, voire pas, d'effet de mutations aléatoires).

- 4) A la fin du cours, vous précisez (dans la partie sur l'organogénèse) que  $100\text{mSv}=100\text{mGy}$ , un étudiant me demande si l'on peut considérer cette équivalence sur tout le cours ?

Je rappelle que la dose déposée (en Gy) et la dose effective (en Sievert) sont reliées par un facteur dit de « dangerosité » D. Ce facteur est égal à 1 pour les X, gamma et les électrons. Donc la correspondance numérique vaut dans ces cas seulement.

- 5) Un de mes QCM (que vous aviez déjà relu) a posé quelques problèmes.

QCM 7 : Lors de l'accident de Fukushima Daiichi en 2011, on sait que les travailleurs de la centrale ont été exposés à une dose efficace légèrement supérieure à  $100\text{mSv}$ . Les populations voisines ont été exposées à des doses inférieures à  $100\text{mSv}$ . Quelle(s) est (sont) la (les) proposition(s) exacte(s) concernant les suites de l'accident ?

- A) Étant exposés à une dose proche de la limite supérieure des faibles doses, les travailleurs de la centrale risqueraient de développer des pathologies dans le futur  
B) Comme pour l'accident de Tchernobyl, la population voisine a vu une augmentation du nombre de cancers de la thyroïde  
C) Il n'y a pas eu d'effets stochastiques démontrés  
D) Les travailleurs de la centrale ont été victimes d'un syndrome aigu d'irradiation

Les items posant problème sont le A et le D. Pour les étudiants, le fait que les travailleurs aient été exposés à une dose supérieure à 100mSv, rend l'item A vrai puisqu'ils risquent par la suite de développer des pathologies, ce n'est pas certain mais il y a un risque. Selon moi, cet item reste faux puisque dans le cours vous précisez que pour une dose proche de la limite supérieure des faibles doses, il n'y a aucun symptôme ni aucune conséquence pour la santé. Pour l'item D, c'est le même problème mais cette fois-ci j'ai répondu que pour le syndrome d'irradiation aigu il fallait être exposé à une dose proche de 1000mSv. Pouvez-vous nous éclairer ?

L'item A est à considérer comme juste, car aux faibles doses on n'a pas mis en évidence d'effet.

L'item D est faux puisqu'en effet un syndrome d'irradiation aiguë ne survient qu'à des doses 10 fois plus élevées.

- 6) Le professeur Humbert aurait dit dans son cours que la radiosensibilité de l'ADN fait partie des effets moléculaires alors que vous, professeur Darcourt, aurait précisé que cela appartient plutôt aux effets cellulaires.


Les deux sont vraies puisqu'une cellule est composée de molécules. C'est au sens strict un effet moléculaire (l'ADN est une molécule), mais comme c'est la cible de la cellule ... Quoiqu'il en soit, une fois encore, ce n'est pas sur ce genre de piège qu'on ira.


- 7) A la diapo 37, à la dernière phrase, vous écrivez « 60 à 80Gy (= mSv) pour la radiothérapie (dose cumulée et localisée) ». Nous ne comprenons pas pourquoi des Gy sont égaux à des mSv.

Bonne remarque, je n'ai pas détaillé en effet. Il s'agit d'une dose équivalente pour des rayons avec un  $W_r = 1$ .

**4.4- L'exposition des patients**

- Elle est due à:
  - des actes diagnostiques (radiologie, médecine nucléaire);
  - des traitements (radiothérapie, médecine nucléaire).
- Elle est soumise aux principes
  - de justification des examens et des traitement.
  - d'optimisation des doses (ALARA)
  - n'est pas limitée individuellement par la législation (à l'exception de la femme enceinte)
- Les ordres de grandeur
  - 1 à 10 mSv pour le diagnostic (dose efficace à tout le volume)
  - 60 à 80 Gy (= mSv) pour la radiothérapie (dose cumulée et localisée)





UE3 PACES - UFR Médecine - Université Nice-Sophia Antipolis - Année universitaire 2016-2017

37

- 8) Une question plus générale : Est-ce que vous pouvez « piéger » sur proportionnel ou proportionnel au carré ? Par exemple "Le flux énergétique est proportionnel à la haute tension" ou "L'irradiation reçu est inversement proportionnelle de la distance de la source". Faux car dans ces deux items ils sont proportionnels au carré. Certains professeurs font la distinction, d'autres non. Les étudiants aimeraient avoir votre avis pour ce genre de QCM.

Mon objectif et justement de ne pas « piéger » les étudiants et surtout pas sur de telles ambiguïtés. Je me méfie beaucoup en effet de cette formulation « proportionnel ». Au sens strict deux valeurs sont proportionnelles si on peut passer de l'une à l'autre par multiplication (ou division). Dans ce cadre ce qui est juste est de dire que « l'irradiation est inversement proportionnelle au carré de la distance »

## RMN/IRM :

- 1) Faut-il compter faux un item comme « L'atome d'hydrogène est à l'origine du phénomène de RMN ». Il est vrai qu'en RMN on traite des noyaux mais l'atome d'hydrogène est souvent assimilé à son noyau alors cet item serait-il juste ?

On ne peut pas considérer que l'atome et le noyau de l'hydrogène soient équivalents.

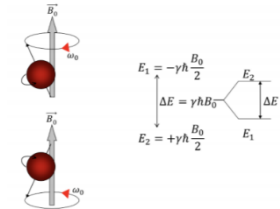
- 2) On nous demande pourquoi il existe des neutrons rapides et lents dans la matière alors qu'il est dit qu'un neutron en sortant du noyau se désintègre spontanément ?

Un neutron au repos se désintègre.

- 3) À l'issue de l'application de l'onde radiofréquence lors de la phase de résonance, est-ce qu'il y a un excès de protons précessant dans le sens parallèle ou antiparallèle afin de maintenir l'aimantation ? Ou bien est-ce que les 2 niveaux d'énergie s'égalisent et contiennent le même nombre de protons ?

La résonance modifie l'équilibre de la précession. Elle tend à rééquilibrer la répartition des spins (ce qui est le cas quand la bascule est de 90°).

- 4) Les étudiants ne comprennent pas pourquoi le proton qui précesse dans le sens de  $B_0$  a une énergie ( $E_1$ ) négative tandis que le proton qui précesse dans le sens opposé au sens de  $B_0$  a une énergie ( $E_2$ ) positive. Existe-t-il une explication au signe des niveaux d'énergie ?



Pas d'explication particulière à ma connaissance si ce n'est que le niveau le plus favorisé est celui avec l'énergie la plus faible.

- 5) Est-il juste de dire que la composante longitudinale de l'aimantation  $M_0$  retrouve progressivement sa valeur maximale d'origine ? Ou devrait-on plutôt parler de « position » d'origine (en sachant que  $M_Z$  ne retrouvera jamais totalement sa valeur d'origine vu que sa croissance se présente sous la forme d'une fonction exponentielle) ?

Au sens strict, vous avez raison, la magnétisation verticale ne retrouve pas la valeur initiale de son moment (surtout si le TR est court). En revanche, il retrouve bien sa position. Cependant on (je) ne va pas en faire un point qui pourrait, en soi, faire l'objet d'une question (piège inutile).

- 6) Un étudiant souhaite que je vous pose la question suivante : l'item « La RMN est un examen invasif » est-il à compter juste ? Je lui ai répondu que non, car l'examen c'est l'IRM et non la RMN qui correspond au phénomène physique. Êtes-vous d'accord avec cela ?

Il n'est pas invasif, car invasif signifie une « invasion » c'est-à-dire un geste traumatisant. La question est plutôt de savoir s'il est ionisant ou pas. La réponse est non. Quant à la subtilité RMN / IRM ; oui l'un décrit le phénomène physique et l'autre la technique appliquée à l'imagerie, mais à quoi bon jouer ces mots, cela n'a aucun intérêt.

- 7) Peut-on dire, après  $t=4T_2$ , que le signal est nul ? Ou faut-il dire qu'il ne reste que 2% du signal initial ?

Comme c'est un phénomène exponentiel ce n'est théoriquement pas zéro. Cela dépend de la précision que l'on souhaite. Je dirais plutôt la deuxième formulation. Mais encore une fois ce n'est pas sur ces détails ambigus que nous vous interrogerons.

- 8) Les élèves se demandent pourquoi on parle de paramètre de relaxation rho, pour eux, ça serait seulement une source de contraste. Et dans le cours on parle seulement du champ magnétique qui se relaxe en T1 et T2.

Ce n'est pas faux, mais rho intervient dans la relaxation (si rho=0, pas de relaxation). C'est la formulation habituelle. L'important est de ne pas confondre paramètres de relaxation et paramètres de la séquence.

### Radioactivité :

- 1) Dans votre cours, professeur Darcourt vous précisez qu'il existe 274 noyaux stables et 51 noyaux radioactifs. Le professeur Humbert aurait dit en cours qu'il existe 2500 noyaux dont 250 stables. Les étudiants me demandent quelle version ils doivent retenir ?

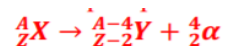
Désolé de cette discordance (mineure), mais j'espère que personne n'imagine que nous pourrions prévoir une question qui porterait sur un tel piège !

- 2) Dans un item de QCM, j'ai dit que la radioactivité alpha concernait les atomes lourds. J'ai compté cet item faux car selon moi dans la radioactivité on s'intéresse aux noyaux et non pas à l'atome. Les étudiants aimeraient savoir si vous compteriez cet item vrai ?

Je n'aurais simplement pas posé cette question. D'abord parce que c'est un piège et ensuite parce que si l'atome est lourd le noyau l'est aussi ... Donc c'est un double piège !

- 3) Quand vous énoncez les lois de conservation, est-ce que vous vous placez au niveau des atomes (entre l'atome père et l'atome fils) ou est-ce que vous considérez la réaction dans sa globalité ? Dans le cours vous précisez bien que le nombre de charges (soit le numéro atomique) se conserve et vous précisez également que la charge totale se conserve. Les étudiants ne comprennent pas pourquoi le numéro atomique se conserve, car certes il se conserve au niveau de la réaction totale mais non pas au niveau des noyaux et dans les QCM vous comptez cet item faux. Quelle version doit retenir les étudiants ? et dans les QCM doivent-ils considérer la réaction dans sa globalité ou simplement les noyaux ?

Le nombre de nucléons et le nombre de charges se conservent globalement bien sûr (les numéros atomiques peuvent changer). Le cours ne manque pas d'exemples, cf transf alpha :



- 4) Un P1 me demande si la conservation de la charge signifie « conservation du nombre de proton » ou « conservation de la charge électrique » car des réponses de tuteurs précédents se contredisent et sont confuses selon les années. Il aimerait avoir votre version pour le concours : le nombre de proton se conserve-t-il ou pas ?

Conservation du nombre de charges positives ou négatives, de quelque nature qu'elles soient, pas de conservation du nombre de protons

- 5) Une discordance entre vous repose problème cette année. Dans votre cours, il est dit qu'il y a 300 noyaux stables et 2500 radioactifs, alors que le Pr. Darcourt dit qu'il y a 274 noyaux stables et 51 radioactifs. Que retenir ?

Le Pr darcourt parle des noyaux présents dans la nature. 2500 correspond à toutes les possibilités de noyaux radioactifs en incluant des noyaux artificiels produits en laboratoire, mais non présents dans la nature.

Pr. Humbert :

Le noyau :

- 1) Concernant le QCM 2 item C de votre cours en Amphi sur le noyau, vous dites que pour les particules alpha environ 1/10000 rebondissent sur la feuille d'or alors que sur la vidéo (vers 8min) vous mentionnez 1/20000 ; quel ordre de grandeur les étudiants doivent-ils retenir ?

On retient 1/20 000

- 2) Concernant le QCM 3 item D, vous comptez juste « Le rapport entre la taille du noyau et la taille de l'atome est d'environ 1/ 10 000 » alors qu'en calculant, on trouve  $10^{-15}/10^{-10} = 10^{-5}$  soit un rapport de 1/100 000 ce qui semble plus cohérent ; quelle version retenir ?

Oui en effet, c'est un rapport de 1/100 000

- 3) Les étudiants ne comprennent pas pourquoi l'item D QCM 11 est compté juste « Pour les molécules, l'énergie de liaison des atomes est de l'ordre du KeV » alors que sur votre diapo il est plutôt de l'ordre de l'Ev.

Il s'agit d'une erreur, l'énergie de liaison est de l'ordre de l'eV

- 4) Vous donnez un intervalle de  $E_L/A$  compris entre 2 et 9 MeV, cependant le professeur Darcourt attachait une importance au fait qu'elle ne dépasse jamais 8,5 MeV comme confirmé sur le graphique. Nous avons pensé que vous avez simplement arrondi la valeur pour faciliter l'intervalle ; est-ce bien ça ?

En fait  $E_{max}$  va jusqu'à environ 8.8 MeV. J'ai donc arrondi à 9MeV et on retient cet ordre de grandeur

- 5) Vers 1h05 min de la vidéo concernant cette phrase dans le modèle sur la goutte sphérique « Le noyau est associé à un liquide constitué de nucléons (molécules) », Un étudiant ne comprend pas le rapport entre nucléons et molécules. Il a pensé à l'analogie avec une goutte d'eau avec les nucléons qui constituent une goutte sphérique nucléaire comme les molécules d'H<sub>2</sub>O constituent une goutte d'eau. A t-il raison ?

Oui, je fais une comparaison entre le noyau, composé de nucléons, et un liquide, composé de molécules. Ce détail n'est en effet pas très explicite mais n'est pas un point important du cours.

- 6) Un étudiant nous a fait une remarque concernant l'atome de Bore (11/5) à laquelle nous ne savons pas répondre :

En calculant son défaut de masse, on trouve 0,28011u donc son énergie de liaison vaut  $931,5 \times 0,28011 = 260,9$  MeV (calcul du défaut de masse vérifié à la calculatrice)

Or si on divise 261 par 11 on obtient une  $E_L/A$  de 23,7 MeV ce qui paraît impossible vu qu'elle ne dépasse pas 8,5 MeV.

Le Professeur Darcourt demandait toujours l'  $E_L/A$  du (10/5) Bore (qui vaut 6,5 MeV) mais jamais celle du (11/5) Bore nous pensons donc qu'il y a une raison à ceci liée avec le résultat que nous trouvons ; quel élément nous échappe ?

Je ne sais pas répondre à cette question, mais en effet le résultat n'est pas compatible avec  $E_L/A$  max qui doit être inférieur à 9 MeV/nucléon. Problème de valeur des masses des atomes ? d'arrondi ?... Bore 11 et Bore 10 sont stables, ce n'est pas la différence d'isotope qui doit pouvoir expliquer la différence de résultat.

- 7) Au concours blanc, j'ai demandé l'énergie de liaison du gadolinium ( $Z=64$ ). Donc en calculant le défaut de masse puis ensuite l'énergie de liaison on trouve 985 MeV ce qui fait 6,7 MeV/nucléons. Mais si on regarde le graphique de l'énergie de liaison par nucléons les noyaux se situant autour de  $Z=60$  ont une énergie de liaison par nucléons très élevée autour de 8MeV/ nucléons ce qui donne à peu près 1200 MeV pour l'énergie de liaison du noyau. Comment peut-on expliquer cette différence ?

Le graphe de l'énergie de liaison par nucléon est fonction de  $A$  (nombre de nucléons) et non du  $Z$ . Il s'agit d'un gros noyau (vous ne donnez pas la valeur du  $A$  que vous avez utilisée). Si vous avez la bonne valeur de la masse réelle (très difficile à obtenir avec la précision nécessaire), cela doit coller.

- 8) A propos de l'expérience de rutherford, le professeur Darcourt dit que le modèle de l'époque ( du pudding = la matière est pleine) on s'attendait à voir la majorité des particules dévier or on observe que la majorité ne sont pas déviées. Donc ceci est incompatible avec le modèle de la sphère pleine Et le professeur Humbert dit qu'à l'époque

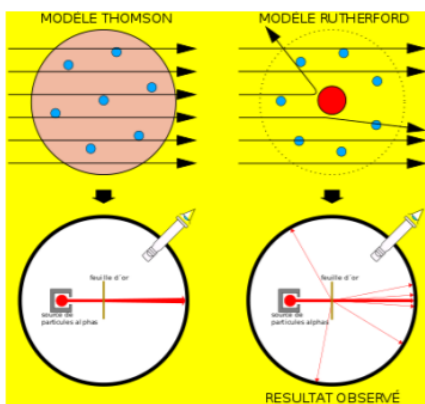


Schéma résumé que je trouve bien fait (wikipedia)

on s'attendait à voir que le faisceau traverse de manière homogène la feuille d'or. Les élèves ne savent pas quelle nuance retenir

Selon le modèle antérieur de Thomson (une « pâte » positive avec des inclusions négatives), homogène, les particules alpha ne devraient pas être déviées. La déviation observée avec l'exp de rutherford a abouti au modèle planétaire de l'atome. Ce n'est pas incompatible. Cette expérience fonde le modèle de Rutherford, c'est ce qui compte.

- 9) Lors de la désintégration du neutron le Professeur Darcourt rajoute à l'équation les 0,78 MeV restant tandis que le Professeur Humbert ne rajoute pas cette précision. Les élèves se demandent s'ils doivent compter juste ou non la présence ou l'absence du reste d'énergie libérée lors de la réaction

N'ayant quasiment pas abordé la désintégration du neutron, je laisse le Pr Darcourt répondre

- 10) Est-ce que la différence de masse entre le proton et le neutron est égale à 14 ou 40%? Et comment fait-on pour obtenir ce résultat ?

14% de plus pour le neutron. Il s'agit d'une connaissance, il n'y a pas de démonstration à connaître pour trouver ces 14%

- 11) A propos d'un QCM de l'année dernière les élèves ne comprennent pas pourquoi pour passer de l'énergie en joule a l'énergie en eV, il faut multiplier par  $6,242 \times 10^{18}$

L'équivalence d'unité est la suivante (il n'y a rien de plus à comprendre !) :  $1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$  et  $1 \text{ Joule} = 6,242 \cdot 10^{18} \text{ electronvolt}$  Rayons X

- 12) Les élèves se demandent s'ils doivent compter cet item vrai ou faux "la composante de raie est issue de l'émission d'électrons Auger" Est-ce que les réarrangements dû aux électrons d'Auger sont aussi visible sur le spectre ?

Je ne sais pas d'où cela sort. Mais, en effet, les réarrangements après émission Auger vont donner aussi des photons de fluorescence. Je ne comprends pas vraiment la question

13) Est-ce que le spectre continu due aux interactions de freinage des électrons avec la matière est considéré comme caractéristique de la cible ?

Non, ce sont les raies qui sont caractéristiques de la cible.

14) Nous avons proposé ce QCM à un des derniers tutorats mais plusieurs P1 ont été perturbé par l'inter-changement de l'axe Z et N par rapport à la table des nuclides de votre diapo p7

CM 21 : À propos de la table des nuclides ci-contre, donner la (les) proposition(s) vraie(s) :

- A) X =  $^{110}_{45}\text{Rh}$
- B) Y =  $^{109}_{44}\text{Ru}$
- C) Z =  $^{111}_{44}\text{Ru}$
- D) Y =  $^{109}_{44}\text{Ru}$
- E) Les réponses A, B, C et D sont fausses

Z ↑	$^{110}_{46}\text{Pd}$	Z	
		X	$^{111}_{45}\text{Rh}$
	Y	$^{109}_{44}\text{Ru}$	

↘ N Peut-on donc lire la table de nuclides

dans les 2 sens ?

C'est vrai que la table des nucléides s'écrit avec Z en abscisse. Au concours, nous respectons cela.

15) Des p1 se demandent à combien de degré rebondit la particule alpha lors de l'expérience de Rutherford dans 1 cas sur 20 000.

Cette particule sur 20 000, rebondit sur la feuille d'or et vient frapper le détecteur à proximité de la source, donc elle est « déviée » d'environ 180°, mais on préfère dire qu'elle rebondit...

16) Un P1 m'a posé une question à laquelle j'ai eu du mal à répondre, quel est votre avis ? « On dit que l'énergie libérée dans une fusion par exemple est égale à la différence des énergies de liaisons, mais on dit aussi que la perte de masse est mise à profit de l'énergie de liaison. Comment on peut avoir une énergie de liaison supérieure, un gain d'énergie qui vient de la masse et en même temps une libération de cette même énergie dans le milieu ? Ca semble logique que l'énergie soit libérée puisqu'on gagne en stabilité mais elle peut pas être a deux endroit à la fois l'énergie, je comprends pas. »

C'est une question tres difficile à appréhender, et il est difficile d'y répondre en 2 lignes. Retenez que quand vous faites le bilan d'énergie d'un point de vue « extérieur au noyau », vous ne mesurez que des modifications de masses et d'énergies « extérieures au noyau » dont la relation est telle que  $E=mc^2$ . Donc fusion avec perte de masse = liberation d'énergie. Quand on étudie les forces de liaison du noyau on change de référentiel et on se place à l'« l'intérieur » du noyau, ces forces existent mais sont totalement invisibles depuis l'extérieur ; donc on ne les met pas dans nos calculs de  $E=mc^2$

17) Une p1 me demande si en connaissant l'énergie libérée lors d'une réaction pourrait-on utiliser la formule d'Einstein soit  $E= mc^2$  afin de déterminer la masse perdu lors d'une Transformation radioactive par exemple ou de fusion ou fission ?

Réponse : Oui

18) Un p1 aimerait savoir si l'antineutrino et le neutrino sont détectables ou totalement indétectables ? Ainsi que s'ils subissent des interactions avec la matière ? Je lui ai répondu qu'ils sont très difficiles à détecter et qu'ils provoquent très peu d'interactions avec la matière qui sont non ionisantes.

Oui, ils sont très très compliqués de les détecter (quasi impossible meme), donc on les considere comme indetectables à notre niveau

### Transformation isobariques :

- 6) Dans votre 1er cours sur les transformations isobariques, nous avons une incompréhension dans une diapositive sur la transformation bêta + que je vous mets ci-

$$E_d = [M(A, Z) - M(A, Z - 1)] \times c^2 - 2m_e \times c^2$$

L'énergie rendue disponible par la désintégration ( $E_d$ ) n'est pas directement proportionnelle à la différence de masse atomique entre les 2 isobares concernés.

Pour que la désintégration  $\beta^+$  soit énergétiquement possible, il faut que:

- $E_d > 0$
- donc :  $[M(A, Z) - M(A, Z - 1)] \times c^2 > 2m_e \times c^2$
- or :  $2m_e \times c^2 = 1,022 \text{ MeV}$

➤ La différence de masse des nucléides père et fils doit être au moins égale à 1,022 MeV = seuil énergétique de la réaction

UE3a PACES - UFR Médecine - Université Nice-Sophia Antipolis - Année universitaire 2016-2017 31

dessous :

Vous dites « La différence de masse des nucléides père et fils doit être au moins égale à 1,022 MeV = seuil énergétique de la réaction ». Mais d'après la formule, ça ne serait pas la différence de masse des atomes ?

Erratum, il s'agit bien de la différence de masse des atomes !

- 7) Concernant la désintégration  $\beta^+$ , qu'appellez-vous « énergie disponible » ? Est-ce l'énergie liée à la perte de masse qui est libérée par la transformation radioactive, ou bien est-ce l'énergie libérée à laquelle on a soustrait 1,022 MeV (le seuil énergétique de la réaction) ? Dans votre cours, vous précisez que  $E_d [\text{MeV}] = \Delta M \times 931,5 - 1,022 > 0$ , mais dans un autre passage vous dites que l'énergie rendue disponible par la désintégration  $\beta^+$  doit être au moins de 1,022 MeV.

Energie disponible = l'énergie libérée à laquelle on a soustrait 1,022 MeV

- 8) Les p1 demandent quelles sont les origines et les types des spectres alpha, et bêta +/- . Notamment le spectre du bêta + est-il électronique ou pas ?

Le spectre d'énergie d'émission des particules bêta est de type électronique et continu. Cependant du fait de l'annihilation, on a ensuite conversion rapide en photon de 511 keV. Pour les origines : Cf le cours

- 9) Pouvons-nous considérer que les spectres des transformations bêta + et bêta - soient des spectres électroniques étant donné que le positon est un électron positif et que bêta - est un électron négatif provenant du noyau

Pas le bêta plus qui n'est pas un électron.

- 10) Concernant l'application biomédicale de la transformation bêta - : dans le cours sur les transformations isobariques vous dites que l'électron émis va « tuer » les C cancéreuses ainsi que les tissus sains périphériques, alors que dans le cours sur les transformations isomériques, vous précisez que cela détruira les C de la thyroïde sans endommager les tissus périphériques. J'ai répondu « Je pense effectivement que cela détruit les C thyroïdiennes saines qui avoisinent les C cancéreuses mais pas les tissus alentours car les particules bêta moins sont très peu pénétrantes. En résumé, c'est le tissu thyroïdien qui est touché (donc cellules cancéreuses et

saines) mais pas les tissus sains voisins puisque les particules bêta moins sont chargées, très ionisantes donc elles agissent sur de courtes distances. » Cet étudiant aimerait avoir confirmation de votre part.

C'est une question de balistique. Le parcours des bêtas moins est relativement court dans la matière et donc, si la source est dans de la tumeur, l'irradiation va la concerner bien plus que les tissus environnants. Je ne vois pas où est la difficulté.

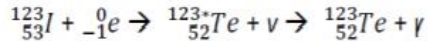
### Transformation isomériques :

- 1) Vous avez fait un QCM et un item nous pose problème, je vous le retranscris :  
QCM 5 : Les rayons X et les rayons  $\gamma \rightarrow$  B. Différent seulement par leur énergie.  
Vous aviez dit que cet item est FAUX. Il n'y a pas de problème sur ce point. Ce qui nous pose problème c'est que vous aviez dit lors de la correction qu'ils sont "aussi" différent par leur origine ce qui nous laisse à penser qu'ils diffèrent selon leur énergie et leur origine. Or le professeur Darcourt, dans les années passées, disait qu'ils se différenciaient seulement par leur origine. Les étudiants aimeraient savoir qu'elle version retenir.

Ils diffèrent toujours par leur origine. Leur énergie est « généralement » plus élevée, mais pas toujours... Contrairement à l'origine, l'énergie n'est donc pas un critère suffisant pour les distinguer.

- 2) Dans le QCM 2 du cours sur les transformations isomériques, certains étudiants ne comprennent pas pourquoi l'item D est compté juste. En effet, suite à une désexcitation  $\gamma$ , l'atome fils (en l'occurrence le  $^{123}_{52}\text{Te}$ ) sera stable et ne se réarrangera pas. Par contre, le  $^{123}_{52}\text{Te}^*$  devrait subir des réarrangements électroniques après la capture électronique. Ainsi, confirmez-vous que l'item D est bien juste même s'il parle de l'atome stable (à l'état fondamental) et non du Tellure excité ?

QCM 2 : Soit les transformations suivantes de l'iode 123 :



Le gamma émis a une énergie de 159 keV et voici le spectre électromagnétique de ces réactions présente :

- A. Une composante continue
- B. Une raie à 159 keV
- C. Une raie correspondant à un photon de fluorescence lié au réarrangement de l'atome d' $^{123}_{53}\text{I}$
- D. Une raie correspondant à un photon de fluorescence lié au réarrangement de l'atome de  $^{123}_{52}\text{Te}$
- E. Les propositions A, B, C et D sont fausses

En effet, j'ai parlé du réarrangement du Te sans préciser la forme isomérique mais il s'agit en effet du Te dans son état excité, donc pour être précis le  $^{123}_{52}\text{Te}^*$ .

- 3) Dans votre cours sur les transformations isomériques, vous avez dit cette année que les photons  $\gamma$  ont une énergie un peu plus élevée que les photons X. Or, le Pr Darcourt insiste sur le fait que les photons X et  $\gamma$  ont la même énergie mais des origines différentes. Ainsi, quelle version les étudiants doivent-ils retenir pour le concours ?

Globalement, le gamma a une Energie plus élevée que le X, mais ce n'est pas toujours vraie donc ça ne permet pas de les distinguer à tous les coups. La seule vraie différence est leur origine.

## Lois cinétiques :

- 1) Dans votre cours sur les lois cinétiques, nous avons une incompréhension envers une diapositive que je vous mets ci-dessous :

3- Lois cinétiques. 3.1 - Loi de décroissance 3.2 - Séries radioactives 3.3 - Actes et loi cinétique 3.4 - Catalogue des filiations

3.4- Cinétique des filiations radioactives

- Le résultat de la désintégration d'un noyau radioactif « père » est un nouveau noyau « fils »
- Ce noyau fils peut être stable ou également radioactif.
- Dans les applications médicales, utilisation fréquente d'un radioélément à décroissance rapide, fils d'un radioélément à période plus courte.

Schéma de désintégration du Molybdène 99

UE3o PACES - UFR Médecine - Université Nice-Sophia Antipolis - Année universitaire 2016-2017 24

Vous dites « Dans les applications médicales, utilisation fréquente d'un radioélément à décroissance rapide, fils d'un radioélément à période plus courte. » Mais ça ne serait pas fils d'un radioélément à période plus longue ?

Comme dans l'exemple qui suit après. En effet, c'est une erreur « ... radioélément à période plus longue »

- 2)

QCM 4 : Concernant l'activité  $A(t)$  d'une source radioactive, qu'elle(s) est(sont) la(les) proposition(s) vraie(s) ?

- A.  $A(t) = N(t) \cdot \lambda$
- B.  $A(t) = A(0) \cdot e^{-\lambda t}$
- C.  $A(t) = A(0) \cdot e^{\lambda \frac{-\ln 2 \cdot t}{T}}$
- D.  $A(t) = -N(t) \cdot \lambda \cdot dt$
- E. Toutes les propositions sont fausses

La réponse B était :  $A(t) = A(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ , donc il manquait le signe négatif devant lambda

- 3) Concernant le cours sur les lois cinétiques, une question de vocabulaire m'a été posée : dans la formation d'un nucléide stable les courbes sont exponentielles par conséquent nous savons que le nombre de noyaux fils ne sera jamais égal au nombre de noyaux pères à  $t=0$ . En revanche dans la formation d'un nucléide instable, les courbes ne ressemblent plus à des exponentielles sauf pour celle du père et on dirait que le nombre de noyaux petit-fils atteindrait le nombre de noyaux pères initiaux ce qui est donc impossible du fait que le père ne se désintègre jamais complètement. Cet élève m'a dit que vous auriez insisté sur la différence entre « tend vers » et « est égal à » c'est pour cela qu'il pose la question.

En effet, du fait des décroissances de type exponentielles, le père ne se désintègre jamais complètement mais il "tend" vers zéro. Donc le fils (ou le petit fils) stable tend vers le nombre d'atome initial du père, sans théoriquement y parvenir. Les courbes ne sont évidemment pas très précises d'où cette impression visuelle

- 4) Bonjour est-il possible de parler de l'évolution d'une solution radioactive injectée sans préciser la période biologique ?

Si le produit est injecté dans un organisme, alors il y a une  $\frac{1}{2}$  vie biologique. Si elle est indiquée dans l'énoncé de la question, il faut en tenir compte dans vos calculs