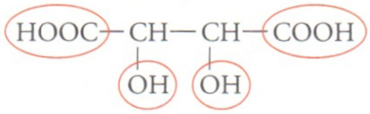
TS3 - Physique-Chimie
Devoir en classe n°6 - Durée : 2h
Proposition de correction

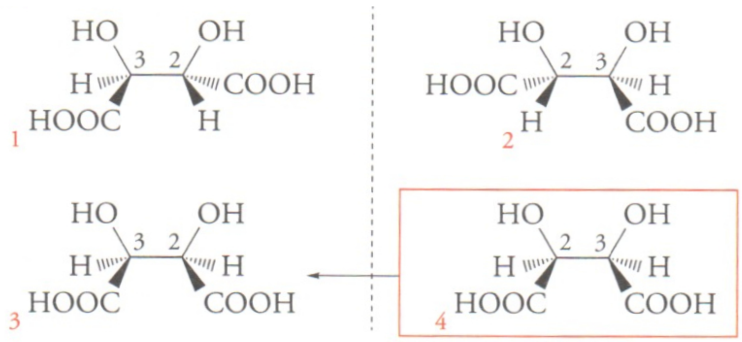
EXERCICE I : LA STÉRÉOISOMÉRIE DE PASTEUR À NOS JOURS

1. Dans la molécule d'acide tartrique, on compte deux groupes carboxyle ($-COOH$) ainsi que deux groupes hydroxyle ($-OH$). Cette molécule présente donc deux fonctions acide carboxylique et deux fonctions alcool.



2. Les carbones 2 et 3 (notés $-CH-$) de la molécule d'acide tartrique sont tous deux des carbones asymétriques puisqu'ils portent chacun quatre groupements différents. Il y aura donc nécessairement plusieurs isomères possibles pour cette molécule.

3. Les stéréoisomères sont représentés ci-dessous : les composés 1 et 2 sont images l'un de l'autre dans un miroir et ne sont pas superposables donc il s'agit d'un couple d'énantiomères ; les composés 3 et 4 sont images l'un de l'autre dans un miroir mais sont superposables : il s'agit donc des mêmes molécules (présence d'un plan de symétrie dans la molécule).



4. Deux énantiomères sont deux molécules images l'une de l'autre dans un miroir et qui ne sont pas superposables : les composés 1 et 2 sont donc les deux énantiomères séparés par Pasteur. Ce sont deux molécules chirales car non superposables à leur image dans un miroir.

5. Leur comportement vis-à-vis des systèmes biologiques (ici, la possibilité d'être dégradé par une souche de Penicillium) et leur effet sur le plan de polarisation de la lumière (dextrogyre ou lévogyre) sont les deux points qui distinguent ces deux énantiomères.

6. Le troisième stéréoisomère est achiral car superposable à son image dans un miroir (cela est dû au plan de symétrie interne à la molécule d'acide tartrique). Par conséquent, il n'a pas d'action sur le plan de polarisation de la lumière qui est une caractéristique des espèces chirales.

EXERCICE II : « Ô, TEMPS ! SUSPENDS TON VOL » ...

1. **Résultats expérimentaux**

1.1. N_1 est le nombre moyen de muons détectés au Mont Washington ; c'est la moyenne des nombres de muons détectés lors des 5 essais : $N_1 = \dfrac{568 + 554 + 582 + 527 + 588}{5} = 564$ muons par heure.

Pour obtenir l'incertitude, il faut calculer l'écart-type de cette série de mesures :

$$E = \sqrt{\frac{1}{5}\left[(568-564)^2 + (554-564)^2 + (582-564)^2 + (527-564)^2 + (588-564)^2\right]} = 22$$

Or, d'après le document 9, pour un intervalle de confiance de 95%, il faut se trouver dans l'intervalle $[N_1 - 2E; N_1 + 2E]$ soit dans l'intervalle $[564 - 44; 564 + 44]$. On en déduit dans ce cas que $N_1 = (564 \pm 44)$ muons par heure et que l'incertitude absolue sur N_1 est de 44 muons par heure.

1.2. N_2 est le nombre moyen de muons détectés à Cambridge ; c'est la moyenne des nombres de muons détectés lors des 5 essais : $N_2 = \dfrac{412 + 403 + 436 + 395 + 393}{5} = 408$ muons par heure.
Pour obtenir l'incertitude, il faut calculer l'écart-type de cette série de mesures :
$E = \sqrt{\dfrac{1}{5}\left[(412 - 408)^2 + (403 - 408)^2 + (436 - 408)^2 + (395 - 408)^2 + (393 - 408)^2\right]} = 16$
Or, d'après le document 9, pour un intervalle de confiance de 95%, il faut se trouver dans l'intervalle $[N_2 - 2E; N_2 + 2E]$ soit dans l'intervalle $[408 - 32; 408 + 32]$. On en déduit dans ce cas que $N_2 = (408 \pm 32)$ muons par heure et que l'incertitude absolue sur N_2 est de 32 muons par heure.

1.3. Une erreur systématique est une erreur sur la mesure qui ne dépend pas du nombre de mesures effectuées mais qui fausse la valeur mesurée toujours de la même façon et dans le même sens. Par exemple, une balance mal tarée et indiquant 3 g lorsque rien ne se trouve sur son plateau induira une erreur systématique de 3 g supplémentaires dans toutes les mesures effectuées.

2. Interprétation des résultats expérimentaux

2.1. Si l'on détecte N_1 muons au niveau du Mont Washington à la date prise comme origine des temps, alors on en détectera $N_2 = N_1 \cdot e^{-t/\tau}$ au niveau de Cambridge à la date t. Comme on ne tient pas compte ici de la dilatation du temps, on peut dire que la vitesse v des muons est liée à la hauteur h parcourue pendant la durée t par la relation : $v = \dfrac{h}{t}$ soit $t = \dfrac{h}{v}$. On a donc : $N_2 = N_1 \cdot e^{-t/\tau} = N_1 \cdot e^{-h/(v\,\cdot\,\tau)}$.

2.2. Application numérique : $N_2 = 564 \cdot e^{-1907/(0{,}9952 \times 299792458 \times 2{,}20 \cdot 10^{-6})} = 31$ muons par heure, ce qui est très différent de la valeur expérimentale réelle de $N_2 = (408 \pm 32)$ muons par heure et en-dehors de l'intervalle de confiance. Étant donné le très fort écart constaté, les résultats expérimentaux ne sont pas à remettre en cause mais bien l'interprétation qui en est faite ici.

2.3. Si l'on tient compte de la dilatation du temps, alors, $v = \dfrac{h}{t'}$ soit $t' = \dfrac{h}{v}$ où t' est le temps mesuré par les expérimentateurs tandis que $N_2 = N_1 \cdot e^{-t/\tau}$ reste valable avec t le temps propre dans le référentiel lié aux muons. D'après la première partie, $t' = \gamma \cdot t$ en raison de la dilatation du temps d'où $\gamma \cdot t = \dfrac{h}{v}$ et enfin $t = \dfrac{h}{\gamma \cdot v}$. On obtient donc la nouvelle expression du nombre moyen de muons détectés à Cambridge : $N_2 = N_1 \cdot e^{-h/(\gamma\,\cdot\,v\,\cdot\,\tau)}$.

2.4. Application numérique : $N_2 = 564 \cdot e^{-1907/(10{,}22 \times 0{,}9952 \times 299792458 \times 2{,}20 \cdot 10^{-6})} = 424$ muons par heure. Or l'intervalle de confiance à 95% donnait $376 \leqslant N_2 \leqslant 440$. Cette fois, la valeur théorique se trouve bien dans l'intervalle de confiance à 95%. Cette expérience est donc une preuve patente du phénomène de dilatation du temps.

3. Mesure du temps propre de désintégration d'un muon

3.1. Dans le cas de la figure a, le muon est trop rapide pour être arrêté par le fer et ne se désintègre donc pas. Au contraire, dans le cas de la figure b, le muon est arrêté par le fer et se désintègre au bout d'une durée de $4{,}8$ µs.

3.2. La valeur donnée dans le document 3 est de $2{,}20$ µs d'où un écart relatif entre les deux valeurs de $\left|\dfrac{4{,}8 - 2{,}20}{2{,}20}\right| = 120\%$. La précision de cette valeur n'est pas du tout satisfaisante mais il faut garder à l'esprit qu'il ne s'agit pas d'une valeur moyenne mais d'une valeur basée sur un seul muon. Pour améliorer le protocole expérimental, il faudrait réaliser la mesure sur un très grand nombre de muons et déterminer la valeur moyenne de cette série de mesures.