

## Mesure du rapport en isotopes stables des aliments et des boissons

La matière vivante, constituée principalement de carbone, hydrogène, oxygène et azote, est aussi un mélange d'isotopes stables de ces 4 éléments. L'isotope le plus léger est de loin majoritaire, tandis que les plus lourds ont une abondance beaucoup plus faible.

Elément	Hydrogène		Carbone		Azote		Oxygène		
	<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H	<sup>12</sup> C	<sup>13</sup> C	<sup>14</sup> N	<sup>15</sup> N	<sup>16</sup> O	<sup>17</sup> O	<sup>18</sup> O
Abondance naturelle	99,984	0,0156	98,891	1,108	99,635	0,365	99,759	0,037	0,204

L'étude de la répartition des isotopes lourds par rapport aux isotopes légers revient à observer de très faibles variations, de l'ordre du ppm. On définit la notion de **déviatio*n* isotopique  $\delta$** .

$$\delta = \frac{R_{\text{échan}} - R_{\text{std}}}{R_{\text{std}}} \times 1000 \text{ (‰)}$$

R est le rapport des concentrations d'isotopes lourd sur léger

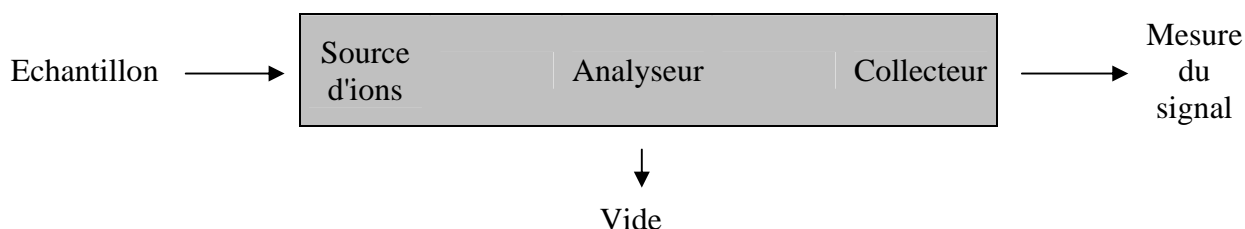
Pour l'azote, l'étalon international est l'azote atmosphérique de l'air :  $R_{\text{std}} = 0,36765 \%$

La **spectrométrie de masse de rapport isotopique (SMRI)**, associée à une chromatographie en phase gazeuse, permet de mesurer l'enrichissement ou l'appauvrissement global en isotope lourd. Le calcul de la déviation isotopique  $\delta^{15}\text{N}/(\text{air})$  s'effectue sur le diazote ( $^{14}\text{N}^{14}\text{N}$  et  $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ ) obtenu après combustion puis réduction du composé organique étudié.

Les **drogues de synthèse, comme l'ecstasy (ou MDMA)**, ne sont pas toutes fabriquées selon le même procédé dans les laboratoires clandestins. La détermination de  $\delta$  peut varier de  $-18 \text{ ‰}$  à  $+19 \text{ ‰}$ , ce qui permet de déterminer les sites de production et les réseaux de transport et de distribution à travers l'Europe.

I) Quelle est la différence entre les 2 isotopes  $^{14}\text{N}$  et  $^{15}\text{N}$  ?

### II) Spectromètre de masse : principe



#### Schéma page 3

1) Pourquoi faut-il faire le **vide** à l'intérieur du spectromètre de masse ?

2) Dans la chambre d'ionisation, les molécules de diazote sont transformées en ions  $\text{N}_2^+$  de masse  $m_1$  ( $^{14}\text{N}^{14}\text{N}^+$ ) et  $m_2$  ( $^{14}\text{N}^{15}\text{N}^+$ ).

Les ions sortent de la chambre d'ionisation avec une *vitesse négligeable*. Ils sont alors accélérés entre 2 plaques métalliques parallèles  $P_1$  et  $P_2$  distantes de  $d = 5$  cm.  
La tension accélératrice a pour valeur :  $U_1 = 4301$  V.

a) Quelle est la direction, le sens et l'intensité du champ électrique  $\vec{E}$  entre les plaques ?

b) Quelle est la plaque qui doit être portée au potentiel électrique le plus élevé ?

c) A quelle force  $\vec{F}$  est soumis un ion de masse  $m_1$  ?  
En déduire que le poids des ions est négligeable devant cette force.

d) Quelles sont l'énergie cinétique (en eV et en J) et la vitesse des ions au point  $O_2$  ?

3) Les ions pénètrent en O dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , d'intensité  $B = 0,1$  T.

a) Indiquer sur un schéma la direction et le sens de  $\vec{B}$  pour que les ions parviennent en A.

b) Etablir la nature du mouvement des ions et l'expression du rayon de courbure en fonction de la charge élémentaire  $e$ , de la masse  $m_1$  des ions, du champ magnétique  $B$  et de la tension accélératrice  $U_1$ .

c) L'énergie cinétique des ions varie-t-elle au cours du mouvement ?

d) Tracer la trajectoire et noter en un point de cette trajectoire la vitesse  $\vec{v}$  des ions et la force  $\vec{F}$  à laquelle ils sont soumis.

e) Quelle doit être la distance  $O'A$ , c'est à dire le rayon  $R$  de la trajectoire, pour que les ions  $N_2^+$  de masse  $m_1$  soient collectés en A.

f) Pour que les ions de masse  $m_2$  soient collectés en A, quelle tension accélératrice  $U_2$  faut-il appliquer entre les plaques ?

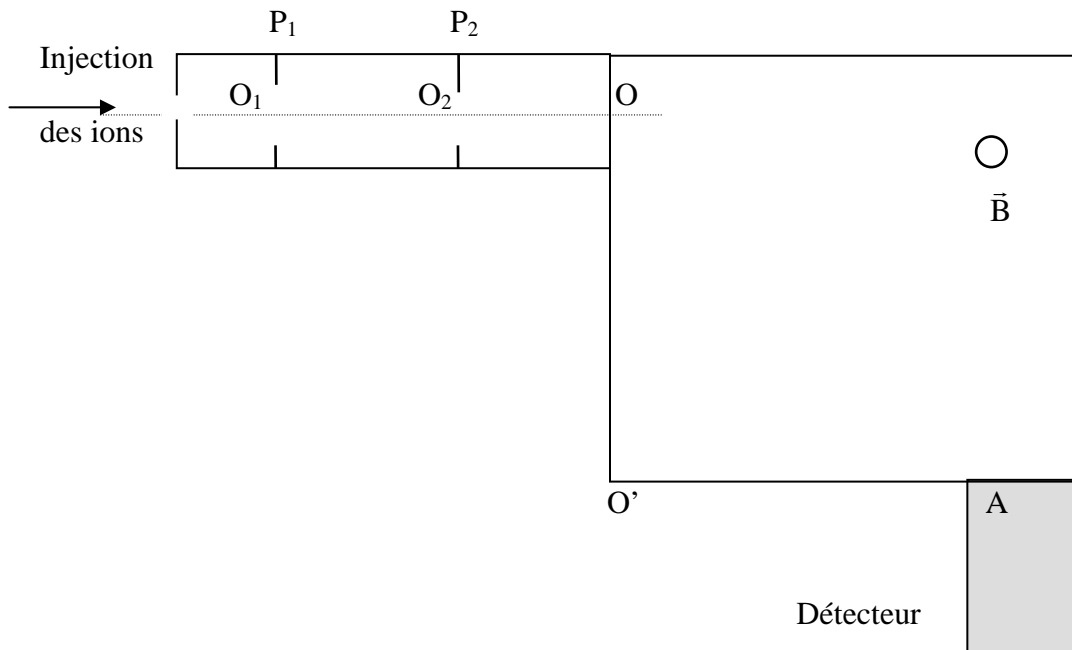
4) Le détecteur est un *photomultiplicateur (PM)*.

a) Quel est, dans le mélange gazeux initial, le pourcentage des ions de masse  $m_2$  si l'intensité du courant mesuré lors du passage de ces ions est **275 fois** plus faible que lors du passage des ions de masse  $m_1$  ?

b) En déduire  $\delta$ .

$$\begin{aligned} e &= 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ \text{masse de } ^{14}\text{N} &= 14,00307 \text{ u} \\ \text{masse de } ^{15}\text{N} &= 15,00010 \text{ u} \\ 1 \text{ u} &= 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

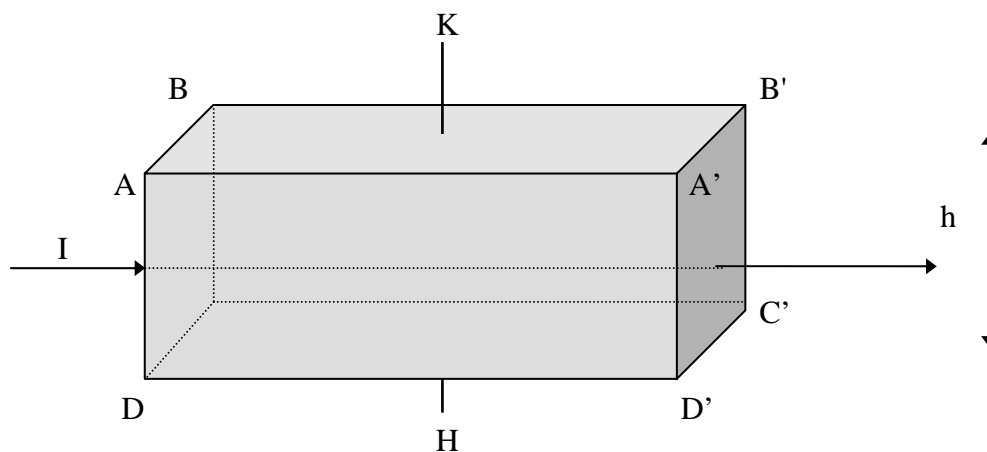
La masse des électrons sera négligée.



*Schéma de principe du spectromètre de masse*

III) Pour vérifier l'intensité du champ magnétique  $\vec{B}$ , on utilise une *sonde à effet Hall*

1) Une *sonde à effet Hall* est une plaquette rectangulaire très petite et d'épaisseur  $d$  très faible d'un semi-conducteur de type N, dont les faces ABCD et A'B'C'D' sont métallisées. Sur les faces ABA'B' et CDC'D' se trouvent 2 électrodes H et K. Un courant  $I$  traverse la sonde.



- Quels sont les porteurs majoritaires dans un semi-conducteur de type N ?
- La sonde est placée dans le champ magnétique  $\vec{B}$  d'intensité 0,1 T, parallèle à AB et dirigé de A vers B. Montrer que les électrons sont déviés vers le haut.
- En régime permanent, les lignes de courant restent parallèles à AA' : les électrons ont donc une trajectoire rectiligne. Quelles sont alors les 2 forces qui agissent sur les électrons ?
- Il apparaît alors une tension  $U_h = V_h - V_k$ . Etablir la relation :  $U_h = kB$   
 $k$  étant une constante caractéristique de la sonde si le courant  $I$  qui la parcourt est constant. Si  $k = 0,1$ , calculer  $U_h$ .

## 2) Amplification de la tension $U_h$ obtenue à la sortie de la sonde

- Que signifie « amplificateur opérationnel parfait » ?
- Exprimer l'amplification  $A = U_s/U_h$  en fonction des résistances du circuit.
- Déterminer la valeur de  $R_2$  pour que la valeur lue de  $U_s$  soit égale à la valeur de  $B$ .

