

Devoir à la maison de Physique - Chimie n°3 - À rendre le mardi 22 Novembre 2016 -

*Temps suggéré à y consacrer : entre 3 et 4 heures.
Il est conseillé de le chercher à plusieurs mais vous devez rendre une copie par élève*

Evolution de l'alcoolémie au cours du temps

Par définition, on appelle « alcoolémie » la concentration en g/L d'éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) dans le sang d'une personne. En France, la loi interdit à une personne de conduire si son alcoolémie est supérieure à 0,5 g/L.

On se propose dans cet exercice d'étudier comment varie l'alcoolémie d'une personne à partir du moment où elle boit deux bière (chacune de 50 cL et à 6%), de façon notamment à savoir à quel moment elle pourra prendre le volant.

Il faut pour cela étudier deux mécanismes différents :

- l'absorption de l'alcool dans le sang, qui se fait par diffusion à travers les parois de l'estomac et de l'intestin grêle
- l'élimination de l'alcool contenu dans le sang, qui est effectuée essentiellement par des enzymes au niveau du foie (grâce à une réaction d'oxydation)

On va étudier chacun de ces deux processus séparément (dans les parties A et B), puis on combinera les deux dans la partie C.

A – Absorption de l'alcool à travers la paroi stomacale :

On modélise ce processus par la « réaction » suivante :



On cherche dans ce paragraphe à étudier la loi cinétique de cette réaction, c'est à dire que l'on cherche à déterminer son ordre (si elle en possède un) et sa constante de vitesse k .

Pour cela, on réalise l'expérience suivante : on fait boire à un homme (initialement à jeun, c'est à dire l'estomac vide) une boisson alcoolisée de volume $V = 250$ mL contenant 1 mole d'éthanol. On mesure alors la concentration c_1 de l'éthanol dans l'estomac de l'homme en fonction du temps. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

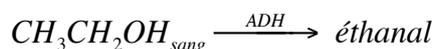
t (en min)	0	1,73	2,8	5,5	18	22
c_1 (en mol/L)	à déterminer	3,0	2,5	1,6	0,2	0,1

1) Utiliser ces données pour prouver graphiquement (en utilisant la feuille de papier millimétré fournie) que la réaction d'absorption de l'alcool dans le sang suit une loi cinétique d'ordre 1, et déterminer sa constante de vitesse k_1 (en précisant son unité).

2) Calculer la valeur (en minutes) du temps de demi-réaction $t_{1/2,1}$ de la réaction d'absorption de l'alcool dans le sang.

B – Oxydation de l'alcool dans le sang :

Une fois que l'alcool est passé dans le sang, il est progressivement éliminé (surtout au niveau du foie) par une réaction d'oxydation qui le transforme en éthanal (CH_3CHO). Cette réaction a lieu grâce à une enzyme appelée alcool-déshydrogénase (ADH) :



On cherche à présent à déterminer la loi de vitesse de cette réaction d'élimination de l'alcool.

Pour cela, on injecte directement (par voie veineuse) une certaine quantité d'alcool dans le sang d'un homme et on mesure par des prélèvements successifs l'évolution de la concentration c_2 de l'alcool dans le sang de cet homme au cours du temps (on suppose que l'injection est quasi-instantanée et que la concentration de l'alcool dans le sang est la même en tout endroit du corps).
On obtient les données du tableau suivant :

t en min	0	120	240	360	480	600	720
c_2 (en mol/L)	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$4,13 \cdot 10^{-2}$	$3,26 \cdot 10^{-2}$	$2,39 \cdot 10^{-2}$	$1,52 \cdot 10^{-2}$	$0,65 \cdot 10^{-2}$	0

3) À l'aide de ces données (et de la feuille de papier millimétré), déterminez l'ordre de cette réaction ainsi que sa constante de vitesse k_2 .

4) Calculer en minutes le temps de demi réaction $t_{1/2,2}$ de cette réaction et comparez le au temps de demi-réaction de l'absorption de l'alcool $t_{1/2,1}$. Commentaire ?

C – Evolution de l'alcoolémie au cours du temps :

Maintenant que l'on connaît les lois de vitesse de la réaction d'absorption et de la réaction d'élimination de l'alcool, on peut calculer comment évolue l'alcoolémie (concentration d'alcool dans le sang) au cours du temps, à partir du moment où une personne boit de l'alcool.

Notons c la concentration (en mol/L) de l'alcool dans le sang et $v = \frac{dc}{dt}$ la vitesse à laquelle varie cette concentration. On note également V_s le volume total du sang et de l'ensemble compartiments hydriques de l'organisme (dans lesquels se dissout l'alcool) et V_e le volume de la boisson alcoolisée ingérée par la personne (qui correspond également au volume de son estomac puisqu'on considère que la personne était à jeun avant de boire).

5) Montrer que la vitesse v vérifie l'équation suivante :

$$v(t) = \frac{V_e}{V_s} k_1 c_1(t) - k_2$$

où $c_1(t)$ représente, comme dans la partie A, la concentration de l'alcool dans l'estomac.

6) En déduire que la concentration dans le sang à l'instant t s'écrit :

$$c(t) = C_0 \frac{V_e}{V_s} (1 - e^{-k_1 t}) - k_2 t$$

où C_0 est la concentration en alcool dans la boisson alcoolisée. N'hésitez pas à admettre ce résultat pour traiter les questions suivantes !

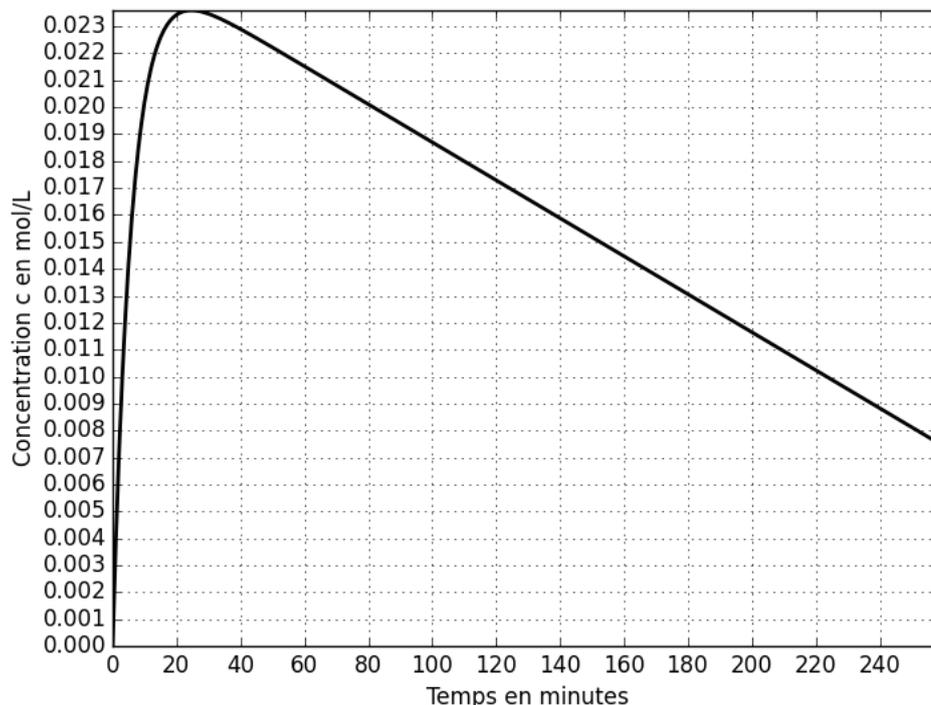
Lors d'une soirée, Alice boit deux bières, chacune de volume $V_0 = 50$ cL et de « degré alcoolique » $d = 6\%$. Le « degré alcoolique » correspond au pourcentage volumique d'éthanol dans la boisson, c'est à dire que : $d = \frac{V_{ethanol}}{V_{total}}$.

7) Sachant que l'éthanol a une masse volumique $\rho_{eth} = 0,79$ kg/L, calculez la concentration C_0 de l'éthanol dans la bière, en g/L puis en mol/L (on donne les masses molaires : $M_C = 12$ g/mol, $M_H = 1,0$ g/mol et $M_O = 16$ g/mol).

8) Déterminer (en utilisant le résultat de la question 2) l'instant t_{max} auquel la concentration en éthanol est maximale dans le sang d'Alice.

9) Calculez à cet instant t_{max} la concentration $c_{max} = c(t_{max})$ de l'éthanol dans le sang d'Alice. Alice a-t-elle le droit de conduire à ce moment là ? (on prendra $V_s = 40$ L comme volume total du sang et des compartiments hydriques dans le corps d'Alice).

10) À l'aide du logiciel Python, on a tracé la fonction $c(t) = C_0 \frac{V_e}{V_s} (1 - e^{-k_1 t}) - k_2 t$ représentant l'évolution de la concentration en éthanol dans le sang d'Alice (en mol/L) à partir du moment où elle boit ses deux bières, ce qui nous a donnée la courbe suivante :



Commenter l'allure de cette courbe. Déterminez graphiquement le temps au bout duquel Alice aura le droit de prendre le volant.

11) La formule la plus communément utilisée pour calculer l'alcoolémie d'une personne est la « formule de Widmark », nommée en l'honneur du chimiste suédois Erik Widmark, qui a étudié de manière très précise et systématique l'absorption et l'élimination de l'alcool par les êtres humains :

$$c(\text{en g/L}) = \frac{790 \times d \times V_e}{V_s} - \beta t, \text{ où :}$$

- d est le degré d'alcool de la boisson bue (par exemple d = 0,06 pour une boisson à 6%)
- V_e est le volume de boisson alcoolisée ingéré (en L)
- V_s est le volume (en L) du sang et des compartiments hydriques de la personne (qui peut se calculer en prenant 55% de la masse de la personne si c'est une femme et 70% de la masse si c'est un homme)
- 790 représente la masse volumique de l'éthanol (en g/L)
- β est une constante appelée « constante d'élimination », égale à environ 0,20 g.L⁻¹.h⁻¹

a) Pouvez-vous justifier cette formule à l'aide de notre étude ? Quel phénomène a été négligé dans l'établissement de cette formule ?

b) Retrouvez la valeur de la constante β à partir des questions précédentes.

c) En appliquant cette formule, déterminez le temps au bout duquel Alice pourra conduire. Y a-t-il un accord satisfaisant entre la formule de Widmark et notre étude précédente ?