

## Dégradation de l'alcool dans le sang

### Question simple

Soit la réaction  $A \rightarrow B$

Etablir l'expression de  $[A] = f(t)$  dans le cas où la réaction admet un ordre 0 et un ordre 1

### Question ouverte

- 1) Un individu boit 2 cannettes de 33cL chacune, d'une bière forte à 8,0 % (v/v). Combien de temps devra-t-il attendre avant de pouvoir conduire, sachant que la teneur en alcool dans le sang maximal autorisé est de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  ?
- 2) L'alcoolémie est la concentration de l'éthanol dans le sang. Son estimation est faite à partir d'une mesure sur l'air expiré. L'alcoolémie est proportionnelle à la concentration de l'éthanol dans l'air expiré qu'indiquent les éthylotests : 0,25 mg d'éthanol par litre d'air expiré correspond à une alcoolémie de 0,5 g/L.

Aujourd'hui, on peut acheter des alcootests jetables. Ils sont constitués d'un sachet gonflable de capacité 1,0 L et d'un tube en verre contenant des cristaux jaunes de dichromate de potassium ( $M = 294 \text{ g.mol}^{-1}$ ) en milieu acide. Ceux-ci se colorent en vert au contact de l'alcool. L'automobiliste souffle dans le ballon et fait passer l'air à travers le tube. Si la coloration verte dépasse le trait témoin sur le tube, le seuil toléré des  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  est dépassé.

Quelle est la masse de dichromate de potassium devant être placée avant le trait de jauge afin que celui-ci indique le seuil limite des 0,5g d'alcool par litre de sang ? On identifiera la transformation mise en jeu, que l'on justifiera à l'aide des diagramme E-pH fournis.

### **Données :**

Potentiel standard :

Couple	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$	$\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
$E^\circ$ (V)	1,33	0,19

Masse molaire :

Elément	C	H	O	Cr	K
$M$ ( $\text{g.mol}^{-1}$ )	12	1	16	52	39,1

Masse volumique : éthanol 0,79 g/mL

## Document 1 : Cinétique de décomposition de l'alcool

La cinétique de décomposition de l'alcool se fait en deux phases :

1<sup>ère</sup> phase : Passage de l'alcool à travers la paroi stomacale dans le sang

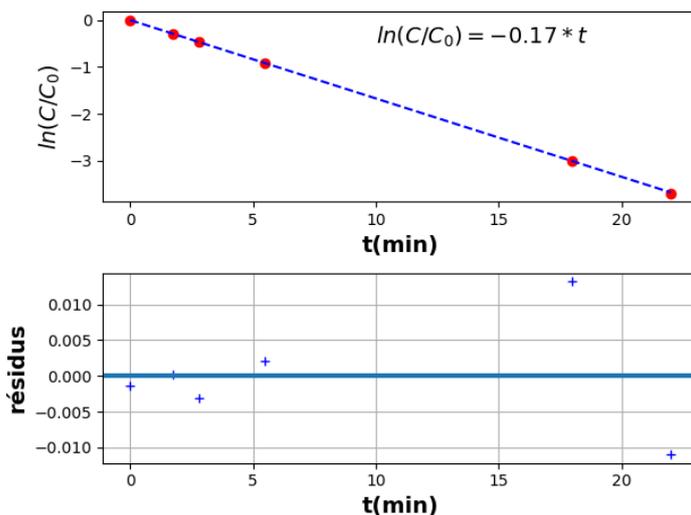
2<sup>ème</sup> phase : Oxydation de l'alcool dans le sang

Des expériences de cinétique ont été réalisées pour caractériser chacune de ces deux phases. On précise que l'estomac est considéré comme un milieu réactionnel de volume constant  $V_1$  égal pour chaque expérience au volume d'alcool absorbé. Par ailleurs, le sang et les autres liquides contenus dans le corps seront considérés comme un milieu réactionnel unique, dénommé « sang », de volume  $V_2 = 40$  L constant pour toutes les expériences.

### 1<sup>ère</sup> phase : Passage de l'alcool à travers la paroi stomacale dans le sang

La transformation peut être modélisée de la façon suivante :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{\text{estomac}} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{\text{sang}}$

On réalise l'expérience suivante : un individu boit 250 mL d'un apéritif contenant 1 mole d'éthanol. On mesure la concentration  $C$  de l'éthanol dans l'estomac en fonction du temps. Les exploitations des résultats sont regroupées dans les graphiques ci-dessous :



### 2<sup>ème</sup> phase : Oxydation de l'alcool dans le sang

Pour étudier la cinétique d'oxydation de l'alcool dans le sang, on injecte directement une certaine quantité d'alcool dans le sang et on détermine la concentration  $C$  en éthanol en fonction du temps. (On suppose que l'injection est instantanée et que la concentration de l'alcool dans le sang est uniforme). On obtient les résultats suivants :

t en min	0	120	240	360	480	600
C en mol.L <sup>-1</sup>	$5 \cdot 10^{-2}$	$4,13 \cdot 10^{-2}$	$3,26 \cdot 10^{-2}$	$2,39 \cdot 10^{-2}$	$1,52 \cdot 10^{-2}$	$0,65 \cdot 10^{-2}$

## Document 2 : Script Python

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import scipy.optimize as op
4
5 #Données
6 V1=0.66 #L
7 V2=40 #L
8 nethanol_0=0.907 #mol
9 Cethanol_sang_max=0.0109 #mol/L
10 k1 = 0.17 #min-1
11 k2 = 7*10**-5 #mol/L/min
12 tmax=23.6 #min
13
14 #fonction à annuler
15 def f(x):
16     return nethanol_0/V2*(1-np.exp(-k1*x))-k2*x-Cethanol_sang_max
17
18 #utilisation de la fonction bisect pour trouver la valeur du temps qui annule la fonction f
19 tlimite=op.bisect(f,tmax,1000)
20
21 print(tlimite)
22
```

```
>>> (executing lines 1 to 21 of "C3. Alcool dans le sang bisect.py")
168.21428571416223
```

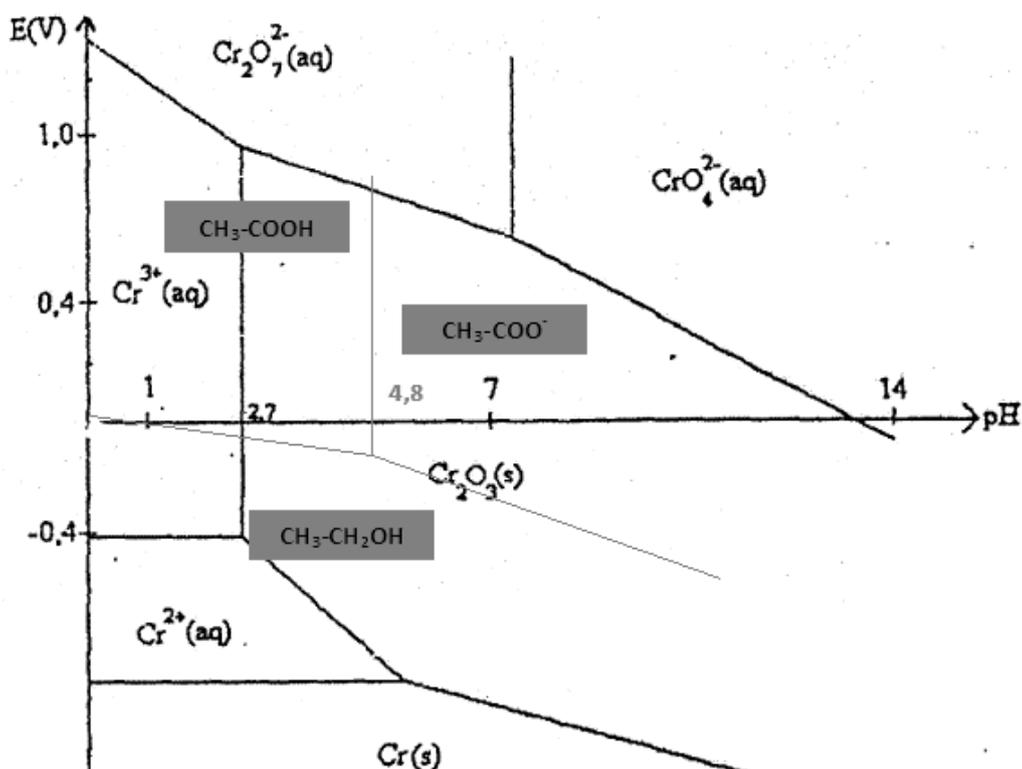
## Document 3 : Ethylotest

### Fonctionnement :

Environ 1/2 heure après avoir été consommé, l'alcool parvient dans l'intestin grêle où il passe dans le sang. Le coeur propulse le sang veineux vers les poumons pour qu'il s'y oxygène. Dans les alvéoles pulmonaires, les échanges gazeux s'effectuent : le sang se charge en dioxygène et se libère du dioxyde de carbone ainsi que d'une partie de l'alcool. Ces vapeurs sont expirées dans l'air. L'air alvéolaire est environ 2100 fois moins concentré en alcool que le sang.

Dans les stations services ou en pharmacie, on peut acheter des alcootests jetables. Ils sont constitués d'un sachet gonflable de capacité 1 L et d'un tube en verre contenant des cristaux jaunes de dichromate de potassium en milieu acide. Ceux-ci se colorent en vert au contact de l'alcool. L'automobiliste souffle dans le ballon et fait passer l'air à travers le tube. Si la coloration verte dépasse le trait témoin sur le tube, le seuil toléré des  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  est dépassé.

### Diagrammes E-pH d'intérêt :



## Dégradation de l'alcool dans le sang - Correction

### Question ouverte

$$1) n_{CH_3CH_2OH,0} = \frac{8}{100} \times \frac{2 \times 330 \times 0,79}{46} = 0,907 \text{ mol} ; [CH_3CH_2OH]_{estomac,0} = \frac{n_{CH_3CH_2OH,0}}{V_1} = 1,37 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

$$[CH_3CH_2OH]_{sang,max} = \frac{\text{taux maximal}}{M(\text{ethanol})} = \frac{0,5}{46} = 0,0109 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

Il faut donc chercher au bout de combien de temps la concentration en éthanol dans le sang ne vaut plus que 0,0109 mol/L

### 2) Détermination des constantes de vitesse de chacune des phases

1<sup>ère</sup> phase : Passage de l'alcool à travers la paroi stomacale dans le sang

Les deux tracés permettent de valider l'ordre 1 avec une constante de vitesse :  $k_1 = 0,17 \text{ min}^{-1}$

2<sup>ème</sup> phase : Oxydation de l'alcool dans le sang

La concentration en éthanol décroît linéairement avec le temps ce qui valide l'ordre 0 et donne la constante de vitesse :

$$k_2 = 7,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

### Détermination de la durée au bout de laquelle la concentration dans le sang est maximale

$$\frac{d[CH_3CH_2OH]_{sang}}{dt} = v_1 - v_2 = k_1[CH_3CH_2OH]_{estomac} \times \frac{V_1}{V_2} - k_2 \quad \text{où } V_1 = 0,66 \text{ L et } V_2 = 40 \text{ L}$$

### Hypothèse : les lois de vitesse précédentes démontrées séparément restent valables

$$\text{Dans ce cas : } [CH_3CH_2OH]_{estomac} = [CH_3CH_2OH]_{estomac,0} \times e^{-k_1 t}$$

$$\text{L'équation précédente devient : } \frac{d[CH_3CH_2OH]_{sang}}{dt} = v_1 - v_2 = k_1[CH_3CH_2OH]_{estomac,0} \times e^{-k_1 t} \times \frac{V_1}{V_2} - k_2$$

$$\Rightarrow [CH_3CH_2OH]_{sang} = -[CH_3CH_2OH]_{estomac,0} \times e^{-k_1 t} \times \frac{V_1}{V_2} - k_2 t + cste$$

$$\text{A l'instant initial : } [CH_3CH_2OH]_{sang}(t=0) = 0 \Rightarrow cste = \frac{V_1}{V_2} \times [CH_3CH_2OH]_{estomac,0}$$

On en déduit :

$$[CH_3CH_2OH]_{sang} = \frac{V_1[CH_3CH_2OH]_{estomac,0}}{V_2} \times (1 - e^{-k_1 t}) - k_2 t = \frac{n_{CH_3CH_2OH,0}}{V_2} \times (1 - e^{-k_1 t}) - k_2 t$$

La concentration dans le sang en éthanol est maximale lorsque  $\frac{d[CH_3CH_2OH]_{sang}}{dt} = 0$

$$\Rightarrow k_1[CH_3CH_2OH]_{estomac,0} \times e^{-k_1 t_{max}} \times \frac{V_1}{V_2} - k_2 = 0 \Rightarrow e^{-k_1 t_{max}} = \frac{k_2}{k_1[CH_3CH_2OH]_{estomac,0} \times \frac{V_1}{V_2}}$$

$$\Rightarrow t_{max} = \frac{1}{k_1} \times \ln \left( \frac{k_1[CH_3CH_2OH]_{estomac,0} \times \frac{V_1}{V_2}}{k_2} \right) = \frac{1}{k_1} \times \ln \left( \frac{k_1 n_{CH_3CH_2OH,0}}{k_2 V_2} \right)$$

$$\text{AN : } t_{max} = 23,6 \text{ min}$$

Détermination de la durée au bout de laquelle la concentration dans le sang vaut  $[CH_3CH_2OH]_{sang,max} = 0,0109 \text{ mol} \cdot L^{-1}$

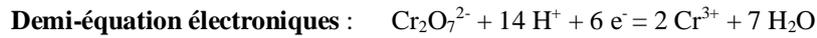
Il faut chercher le temps  $t_{limite}$  qui obéit à l'équation suivante :

$$[CH_3CH_2OH]_{sang,max} = \frac{V_1}{V_2} \times (1 - [CH_3CH_2OH]_{estomac,0}) \times e^{-k_1 t_{limite}} - k_2 t_{limite}$$

$$\Rightarrow \frac{n_{CH_3CH_2OH,0}}{V_2} \times (1 - e^{-k_1 t_{limite}}) - k_2 t_{limite} - [CH_3CH_2OH]_{sang,max} = 0$$

D'après le script Python fourni qui permet de trouver la valeur de  $t_{limite}$  annulant cette fonction (au-delà de  $t_{max}$ ), on trouve :  $t_{limite} = 168 \text{ min} = 2\text{h}48\text{min}$  ce qui est un peu court, sûrement à cause de l'hypothèse faite.

3) **Diagrammes E-pH** : Incompatibilité entre  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  et  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  donc réaction favorable thermodynamiquement + choix du pH acide



$$K^0 = 10^{\frac{12}{0,06} \times (E^0(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}) - E^0(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}))} = 10^{228} : \text{quantitative (quasi-totale)}$$

**Calcul de la masse de dichromate de potassium :**

$$\frac{n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}}}{2} = \frac{n_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}}}{3} \Rightarrow n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = \frac{2}{3} \times n_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}} = \frac{2}{3} \times \frac{m_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}}}{M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}$$

$$\Rightarrow m_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = \frac{2}{3} \times \frac{m_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}}}{M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})} \times M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

$$\text{AN} : m_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 1,07 \text{ mg}$$