Corrigé complet — Bac S 2003 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**Constante d'acidité de l'acide benzoïque** Titrage conductimétrique · Équivalence · Tableau d'avancement · Taux d'avancement final · Constante d'acidité · Loi de Kohlrausch	4 pts	52 min	10 questions	p. 2
Ex 2	**Temps de demi-vie et de demi-réaction** Radioactivité α et β^- · Lois de conservation · Loi de décroissance radioactive · Demi-vie et activité · Temps de demi-réaction · Facteurs cinétiques	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 5
Ex 3	**à propos d'une lampe à incandescence** Loi d'Ohm et loi des mailles · Résistance d'un filament et température · Lecture de courbes d'acquisition · Bobine et établissement du courant · Charge d'un condensateur	6,5 pts	1 h 18	17 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Constante d'acidité de l'acide benzoïque

Bac S 2003 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'acide benzoïque par la soude, considérée comme totale.

L'acide benzoïque cède un ion H^+ à la base HO^- :

$$C_6H_5CO_2H\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow C_6H_5CO_2{}^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
L'ion Na^+ est spectateur : il ne figure pas dans l'équation, mais il compte dans la conductivité de la solution.

1.2 À l'aide de la figure 1 et de la définition de l'équivalence, déterminer la concentration molaire c_0 de la solution S_0.

Données utiles $V = 100{,}0$ mL ; $c_b = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; figure 1

Les points de la figure 1 s'alignent sur deux droites de pentes différentes. Leur intersection donne le volume équivalent : $V_{bE} = 10{,}0$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation du dosage : $n(C_6H_5CO_2H)_{\text{initial}} = n(HO^-)_{\text{versé}}$, soit $c_0\,V = c_b\,V_{bE}$.

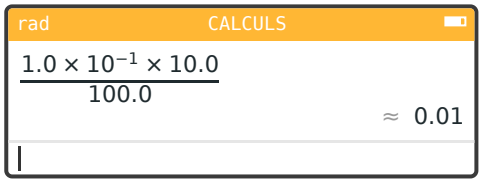
$$c_0 = \frac{c_b\,V_{bE}}{V} = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 10{,}0}{100{,}0}$$

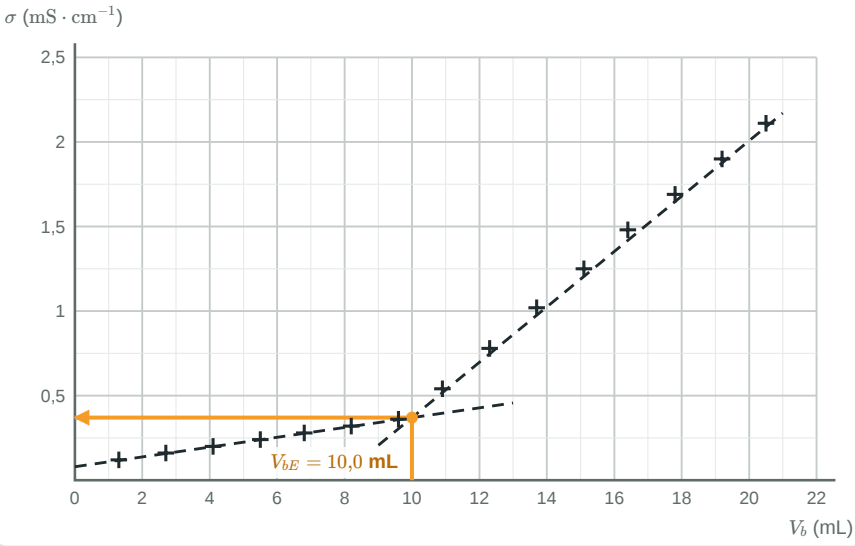
$$c_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

PIÈGE
Les deux volumes sont dans un rapport : inutile de les convertir en litres, à condition de garder la même unité pour V et V_{bE}.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, Na^+ et $C_6H_5CO_2{}^-$ s'accumulent : σ croît lentement. Après, les ions HO^-, très conducteurs, ne sont plus consommés : la pente augmente. Deux chiffres significatifs, comme c_b.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Figure 1 du sujet : les deux droites se coupent à l'équivalence

2.1 Écrire l'équation de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau.

$$C_6H_5CO_2H\,(aq) + H_2O\,(l) = C_6H_5CO_2{}^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

COMPRENDRE
Le signe « = » de l'ancien programme indique une transformation limitée, qui aboutit à un équilibre. On écrit aujourd'hui la double flèche $\rightleftharpoons$.

2.2 Recopier et compléter le tableau descriptif de l'évolution du système, pour un volume V de solution de concentration apportée c.

État	$C_6H_5CO_2H$	$+ H_2O$	$= C_6H_5CO_2^-$	$+ H_3O^+$
initial ($x = 0$)	$n_0 = cV$	solvant	0	0
intermédiaire (x)	$n = cV - x$	solvant	x	x
final ($x_f = x_{éq}$)	$n_f = cV - x_{éq}$	solvant	$x_{éq}$	$x_{éq}$

$$n_f(C_6H_5CO_2H) = cV - x_{éq} \text{ et } n_f(C_6H_5CO_2^-) = n_f(H_3O^+) = x_{éq}$$

COMPRENDRE
L'autoprotolyse de l'eau étant négligée, la quantité initiale d'ions H_3O^+ est prise nulle : tous ceux de la solution viennent de l'acide.

2.3 Exprimer le quotient de réaction Q_r puis la constante d'acidité K_a en fonction de l'avancement, de c et de V.

L'eau, solvant, n'apparaît pas dans le quotient. Avec $[C_6H_5CO_2^-] = [H_3O^+] = \frac{x}{V}$ et $[C_6H_5CO_2H] = \frac{cV - x}{V}$:

$$Q_r = \frac{[C_6H_5CO_2^-]\,[H_3O^+]}{[C_6H_5CO_2H]} = \frac{x^2}{V\,(cV - x)}$$

La constante d'acidité est la valeur de Q_r à l'équilibre :

$$K_a = Q_{r,éq} = \frac{x_{éq}^2}{V\,(cV - x_{éq})}$$

COMPRENDRE
En toute rigueur chaque concentration est divisée par $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: K_a n'a pas d'unité, les concentrations s'expriment en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.4 Définir le taux d'avancement final τ de la transformation.

C'est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal, celui qui serait atteint si la transformation était totale :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

COMPRENDRE
τ est compris entre 0 et 1. Pour un acide faible, $\tau < 1$; il vaudrait 1 pour une transformation totale.

2.5 Montrer que l'avancement final est $x_f = x_{éq} = \tau\,c\,V$.

Si la transformation était totale, l'acide benzoïque, seul réactif limitant possible (l'eau est en excès), disparaîtrait : $cV - x_{max} = 0$, donc $x_{max} = cV$.

D'après la définition de τ : $x_f = \tau\,x_{max}$.

$$x_f = x_{éq} = \tau\,c\,V$$

2.6 Exprimer K_a en fonction du taux d'avancement final τ et de la concentration c.

On remplace $x_{éq}$ par $\tau\,c\,V$ dans l'expression de la question 2.3 :

$$K_a = \frac{(\tau\,cV)^2}{V\,(cV - \tau\,cV)} = \frac{\tau^2\,c^2\,V^2}{cV^2\,(1 - \tau)}$$

$$K_a = \frac{\tau^2\,c}{1 - \tau}$$

COMPRENDRE
K_a ne dépend que de la température. Si c diminue, τ doit donc augmenter : plus la solution est diluée, plus l'acide est dissocié.

2.7 Relier la conductivité σ aux conductivités molaires ioniques des ions présents, puis à τ, c et au coefficient $a = \lambda_{H_3O^+} + \lambda_{C_6H_5CO_2^-}$.

Seuls les ions conduisent le courant (loi de Kohlrausch) :

$$\sigma = \lambda_{H_3O^+}\,[H_3O^+] + \lambda_{C_6H_5CO_2^-}\,[C_6H_5CO_2^-]$$

D'après le tableau, $[H_3O^+] = [C_6H_5CO_2^-] = \dfrac{x_{éq}}{V} = \dfrac{\tau\, c\, V}{V} = \tau\, c$, d'où $\sigma = (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{C_6H_5CO_2^-})\,\tau\, c$.

$\boxed{\sigma = a\,\tau\, c}$

PIÈGE
L'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ est une molécule neutre : il ne contribue pas à σ. Les ions HO^- sont négligés, comme l'autoprotolyse de l'eau.

2.8 À partir de la relation 1, donner le coefficient directeur et l'ordonnée à l'origine de la droite, puis déduire de la relation 2 la valeur de K_a à la température de l'expérience.

Données utiles relation 1 : $\dfrac{\sigma^2}{c} = -K_a\, a\, \dfrac{\sigma}{c} + K_a\, a^2$; relation 2 : $\dfrac{\sigma^2}{c} = -2{,}63 \times 10^{-3}\, \dfrac{\sigma}{c} + 8{,}15 \times 10^{-2}$

La relation 1 est de la forme $y = m\,x + p$ avec $y = \dfrac{\sigma^2}{c}$ et $x = \dfrac{\sigma}{c}$: coefficient directeur $m = -K_a\, a$, ordonnée à l'origine $p = K_a\, a^2$.

Par identification avec la relation 2 : $K_a\, a = 2{,}63 \times 10^{-3}$ et $K_a\, a^2 = 8{,}15 \times 10^{-2}$.

Pour éliminer a, on forme $\dfrac{(K_a\, a)^2}{K_a\, a^2} = K_a$:

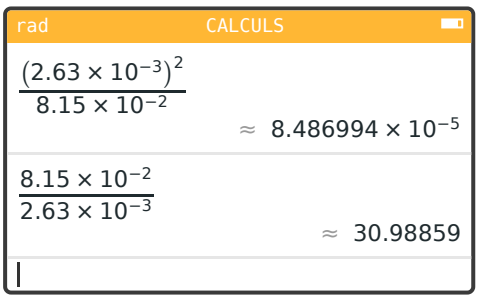
$$K_a = \frac{m^2}{p} = \frac{(2{,}63 \times 10^{-3})^2}{8{,}15 \times 10^{-2}}$$

$\boxed{K_a = 8{,}49 \times 10^{-5} \text{ à } 20\ °C}$

COMPRENDRE
Le quotient des deux donne aussi $a = \dfrac{p}{|m|} \approx 31{,}0\ \text{S} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Avec c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ sur le graphique, K_a est obtenu directement sans unité.

MÉTHODE
Deux inconnues (K_a et a), deux informations (pente et ordonnée à l'origine). On combine les deux pour faire disparaître a, dont la valeur à 20 °C est inconnue.

À LA CALCULATRICE



Temps de demi-vie et de demi-réaction

Bac S 2003 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Le noyau $^{230}_{}\mathrm{Th}$ est un émetteur α qui donne du $_{88}\mathrm{Ra}$. Indiquer ce que représente α et écrire l'équation de la réaction nucléaire en précisant les lois utilisées.

La particule α est un noyau d'hélium 4, noté $^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Équation, avec Z le numéro atomique du thorium et A le nombre de nucléons du radium : $^{230}_{Z}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{A}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Lois de conservation (lois de Soddy) :

- conservation du nombre de nucléons : $230 = A + 4$, donc $A = 226$;
- conservation du nombre de charge : $Z = 88 + 2 = 90$.

$$^{230}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{226}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

PIÈGE
Écrire « atome d'hélium » : la particule α est un noyau, sans électrons. Le radium étant formé dans un état non excité, aucun photon γ ne figure dans l'équation.

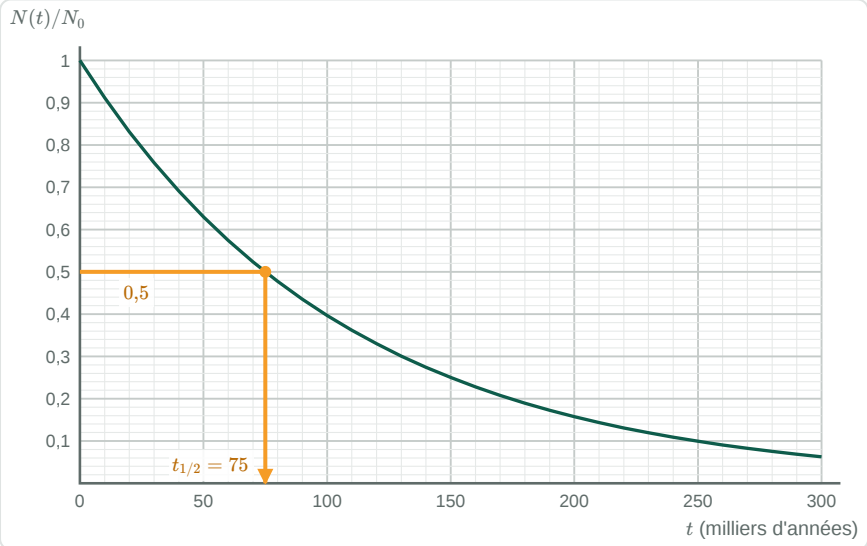
1.2 Donner la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$. Vérifier que sa valeur est de $7{,}5 \times 10^4$ années en expliquant la méthode.

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est la durée nécessaire pour que le nombre de noyaux radioactifs qu'il contient soit divisé par deux : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

Méthode : à $t = t_{1/2}$, le rapport $\dfrac{N(t)}{N_0}$ vaut $0{,}5$. On repère l'ordonnée $0{,}5$, on rejoint la courbe puis on lit l'abscisse du point obtenu : $t = 75$ milliers d'années.

$t_{1/2} = 75 \times 10^3$ ans $= 7{,}5 \times 10^4$ ans : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
La courbe donne $N(t)/N_0$ et non $N(t)$: l'ordonnée à lire est $0{,}5$, sans unité. L'abscisse est en milliers d'années : 75 lu sur l'axe signifie $75\,000$ ans.



1.2 · Courbe du sujet : lecture de la demi-vie pour $N(t)/N_0 = 0{,}5$

1.3 Donner l'expression mathématique de la loi de décroissance radioactive et calculer la constante radioactive en année^{-1}.

Données utiles $t_{1/2} = 7{,}5 \times 10^4$ ans (1.2)

Loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$, où λ est la constante radioactive.

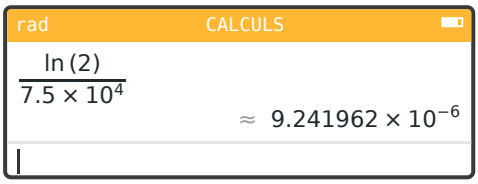
À $t = t_{1/2}$: $\dfrac{N_0}{2} = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}}$, soit $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{7{,}5 \times 10^4}$$

$\lambda = 9{,}2 \times 10^{-6}\ \mathrm{an}^{-1}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $t_{1/2}$. La demi-vie étant laissée en années, λ sort directement en an^{-1} : aucune conversion en secondes n'est demandée.

À LA CALCULATRICE



1.4 Parmi l'âge de l'échantillon, la quantité initiale de noyaux, la température et la nature des noyaux, quelle est la seule grandeur qui fait varier le temps de demi-vie ?

Le temps de demi-vie est une caractéristique du noyau radioactif considéré. Il ne dépend ni de l'âge de l'échantillon, ni du nombre initial de noyaux, ni de la température.

Seule la **nature des noyaux** fait varier le temps de demi-vie.

1.5 Dans la chaîne $^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} \longrightarrow {}^{234}_{Z_4}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{230}_{Z_5}\mathrm{Th}$, donner les valeurs de Z_4 et Z_5 en les justifiant et indiquer le type de radioactivité des deux premières transformations.

Le numéro atomique caractérise l'élément chimique. Tout noyau d'uranium a $Z = 92$ et tout noyau de thorium a $Z = 90$, comme l'indiquent les deux premiers noyaux de la chaîne : $Z_4 = 92$ et $Z_5 = 90$.

Première transformation, $^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$: $A = 238 - 234 = 4$ et $Z = 92 - 90 = 2$. La particule émise est $^{4}_{2}\mathrm{He}$: radioactivité α.

Deuxième transformation, $^{234}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$: $A = 234 - 234 = 0$ et $Z = 90 - 91 = -1$. La particule émise est un électron $^{0}_{-1}\mathrm{e}$: radioactivité β^-.

$Z_4 = 92$; $Z_5 = 90$; première transformation de type α, deuxième de type β^-.

MÉTHODE
Pour reconnaître le type de radioactivité, comparer père et fils : A diminue de 4 et Z de 2 pour α ; A inchangé et Z augmenté de 1 pour β^- ; A inchangé et Z diminué de 1 pour β^+.

1.6.1 L'activité est définie par $A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t}$. Montrer que $A(t) = \lambda\, N(t)$ pour une population de noyaux donnée.

On dérive $N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$ par rapport au temps :

$$\frac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda\, N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t} = -\lambda\, N(t)$$

$$A(t) = -\frac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda\, N(t)$$

PIÈGE
Oublier le signe « − » de la définition. $N(t)$ décroît, sa dérivée est négative : c'est ce signe qui rend l'activité positive.

1.6.2 En déduire qu'à l'équilibre séculaire, le rapport $\frac{N(^{230}\text{Th})}{N(^{238}\text{U})}$ est constant.

On note λ_{Th} et λ_{U} les constantes radioactives du thorium 230 et de l'uranium 238. D'après 1.6.1 :

$A(^{230}\text{Th}) = \lambda_{\text{Th}}\, N(^{230}\text{Th})$ et $A(^{238}\text{U}) = \lambda_{\text{U}}\, N(^{238}\text{U})$.

À l'équilibre séculaire, les deux activités sont égales : $\lambda_{\text{Th}}\, N(^{230}\text{Th}) = \lambda_{\text{U}}\, N(^{238}\text{U})$.

$\frac{N(^{230}\text{Th})}{N(^{238}\text{U})} = \frac{\lambda_{\text{U}}}{\lambda_{\text{Th}}}$: rapport de deux constantes, il ne dépend pas du temps.

COMPRENDRE
À l'équilibre, il se forme autant de noyaux de thorium 230 par seconde qu'il s'en désintègre. Avant cet équilibre, le rapport augmente avec le temps : sa mesure donne l'âge du corail.

2.1 L'eau oxygénée est le réducteur du couple O_2 / H_2O_2. À l'aide de l'équation de la réaction, donner le second couple auquel elle appartient en précisant son rôle.

Dans l'équation $\text{H}_2\text{O}_2 = \frac{1}{2}\,\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$, les produits sont O_2 et H_2O. Le dioxygène provient du couple O_2 / H_2O_2 ; l'eau provient donc du second couple, H_2O_2 / H_2O.

Demi-équations :

- oxydation : $\text{H}_2\text{O}_2 = \text{O}_2 + 2\,\text{H}^+ + 2\,\text{e}^-$;
- réduction : $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\,\text{H}^+ + 2\,\text{e}^- = 2\,\text{H}_2\text{O}$.

Leur somme donne $2\,\text{H}_2\text{O}_2 = \text{O}_2 + 2\,\text{H}_2\text{O}$, c'est-à-dire l'équation de l'énoncé multipliée par 2.

Second couple : H_2O_2 / H_2O, dans lequel l'eau oxygénée est l'**oxydant**.

COMPRENDRE
La même espèce est à la fois l'oxydant d'un couple et le réducteur d'un autre : elle réagit sur elle-même. Une telle réaction s'appelle une dismutation.

2.2 Justifier en exploitant la courbe, sans calcul, que la décomposition du peroxyde d'hydrogène est une transformation chimique lente et totale.

Lente : la concentration en H_2O_2 diminue progressivement et il faut environ une heure pour qu'elle cesse d'évoluer. L'évolution du système se suit donc sans difficulté au cours du temps.

Totale : en fin de transformation, la courbe rejoint l'axe des abscisses, $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{final}} = 0$. Le peroxyde d'hydrogène, seul réactif, a entièrement disparu.

Transformation lente (durée de l'ordre de l'heure) et totale (la concentration du réactif s'annule).

PIÈGE
Confondre les deux critères. « Lente » concerne la durée de l'évolution ; « totale » concerne l'état final, c'est-à-dire la disparition complète du réactif limitant.

2.3 Définir le temps de demi-réaction. Déterminer sa valeur approximative à partir de la courbe 1 de l'annexe.

Données utiles $[H_2O_2]_0 = 9{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

La transformation est totale et H_2O_2 est le seul réactif : $x_f = x_{max} = n_0(H_2O_2)$. À $t_{1/2}$, la moitié du peroxyde d'hydrogène a été consommée, donc, à volume constant :

$$[H_2O_2](t_{1/2}) = \frac{[H_2O_2]_0}{2} = \frac{9{,}0 \times 10^{-2}}{2} = 4{,}5 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

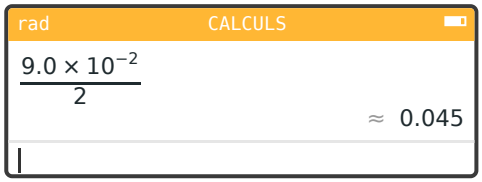
Sur la courbe 1, cette concentration est atteinte à une abscisse égale à la moitié d'un carreau de 10 min.

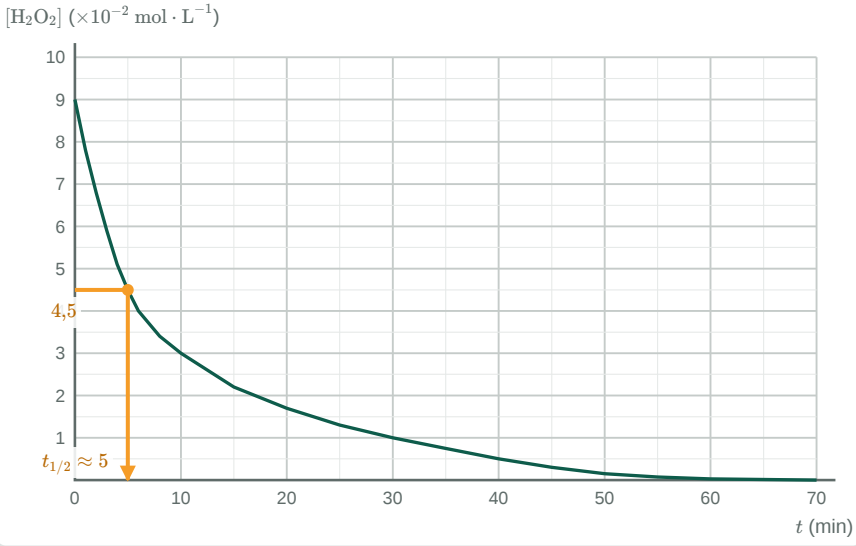
$t_{1/2} \approx 5$ min

COMPRENDRE

Un carreau vaut 10 min et la courbe est très pentue au début : la lecture n'est fiable qu'à une ou deux minutes près. Un seul chiffre significatif suffit.

À LA CALCULATRICE





2.3 · Courbe 1 de l'annexe : lecture du temps de demi-réaction

2.4 La courbe 2 correspond à $[H_2O_2]_0 = 1{,}8 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. À partir des courbes 1 et 2, quelle est l'influence de la concentration molaire initiale sur le temps de demi-réaction ?

Données utiles courbe 1 : $t_{1/2} \approx 5$ min (2.3)

Pour la courbe 2, le temps de demi-réaction est la date à laquelle $[H_2O_2] = \dfrac{1{,}8 \times 10^{-1}}{2} = 9{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

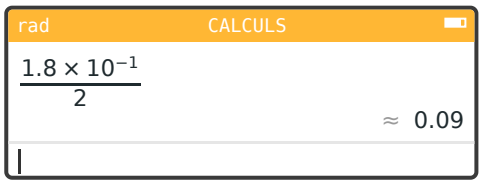
Lecture sur la courbe 2 : $t_{1/2} \approx 5$ à 6 min, soit la même valeur que pour la courbe 1 à la précision de la lecture.

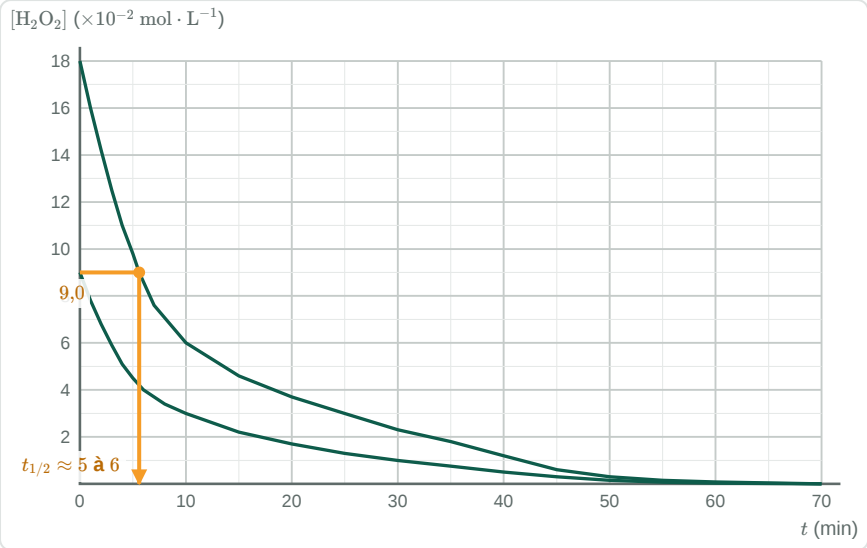
Doubler la concentration initiale ne modifie pas le temps de demi-réaction : il est indépendant de $[H_2O_2]_0$.

COMPRENDRE

Ce comportement est celui d'une réaction d'ordre 1 : la concentration décroît de façon exponentielle, comme $N(t)$, et la durée nécessaire pour la diviser par deux est toujours la même.

À LA CALCULATRICE





2.4 · Courbes 1 et 2 de l'annexe : lecture sur la courbe 2 à la moitié de 18×10^{-2}

2.5 Sur la figure de l'annexe, tracer l'allure de la courbe donnant, pour une température plus faible, l'évolution de la concentration en eau oxygénée, avec $[H_2O_2]_0 = 9{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$.

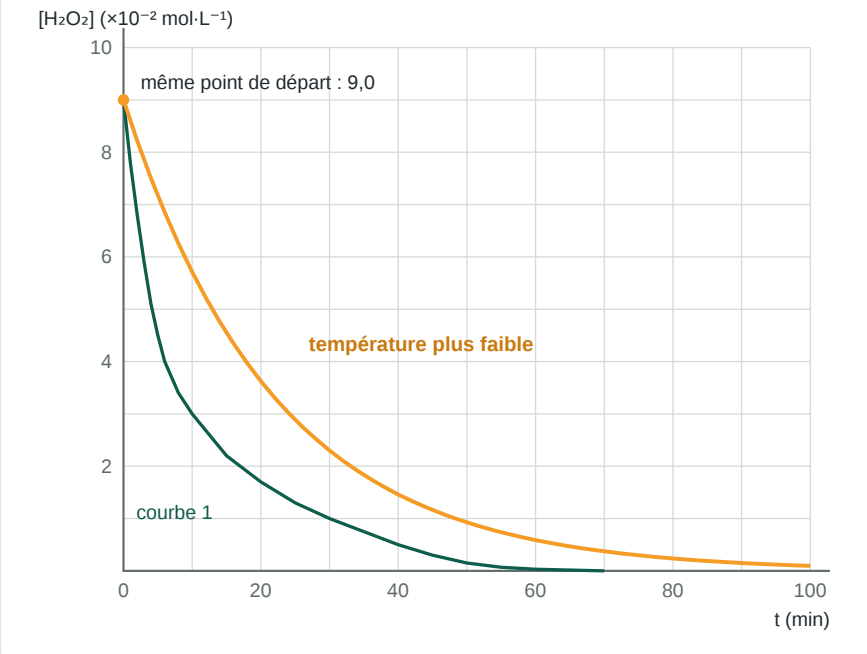
La température est un facteur cinétique : à température plus faible, la transformation est plus lente.

La courbe demandée part du même point que la courbe 1 ($9{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$ à $t = 0$), décroît moins vite et reste donc au-dessus de la courbe 1. Elle tend aussi vers zéro, car la transformation reste totale, mais plus tardivement.

Courbe de même allure, située au-dessus de la courbe 1 : le temps de demi-réaction est plus grand.

PIÈGE

Faire partir la courbe d'une autre ordonnée ou la faire tendre vers une valeur non nulle. La température change la vitesse, pas l'état initial ni l'état final.



2.5 · Annexe complétée (la courbe 2 n'est pas reproduite) : en orange, l'allure à température plus faible

3 $N(t)/N_0$ et $[H_2O_2](t)$ suivent la même loi mathématique. Quelles analogies et quelles différences constate-t-on entre les facteurs qui influencent le temps de demi-vie et le temps de demi-réaction ?

Analogies :

- ni l'un ni l'autre ne dépend de la quantité initiale (nombre de noyaux N_0, concentration $[H_2O_2]_0$) ;
- ni l'un ni l'autre ne dépend de l'âge de l'échantillon : la durée nécessaire pour diviser la grandeur par deux est la même quel que soit l'instant choisi comme origine ;
- chacun dépend de la nature de l'espèce étudiée (noyau radioactif, réactif).

Différence : le temps de demi-réaction dépend de la température (2.5), et aussi de la présence d'un catalyseur, alors que le temps de demi-vie n'y est pas sensible.

Analogie : indépendance vis-à-vis de la quantité initiale. Différence : la température modifie le temps de demi-réaction, pas le temps de demi-vie.

COMPRENDRE
L'indépendance vis-à-vis de la concentration initiale est propre à la réaction étudiée, comme le précise l'énoncé. Pour beaucoup d'autres transformations chimiques, le temps de demi-réaction varie avec la concentration initiale.

à propos d'une lampe à incandescence

Bac S 2003 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Quelle grandeur mesure la voie 1 ? Pourquoi cette mesure permet-elle au logiciel de tracer l'intensité i en fonction du temps ?

Données utiles $R_0 = 4{,}6\ \Omega$

La voie 1 est branchée entre une borne du conducteur ohmique R_0 et la masse, reliée à son autre borne : elle mesure la tension u_{R_0} aux bornes de R_0.

Loi d'Ohm : $u_{R_0} = R_0\, i$. La valeur de R_0 étant connue, le logiciel divise à chaque instant la tension mesurée par R_0.

La voie 1 mesure u_{R_0} et le logiciel calcule $i = \dfrac{u_{R_0}}{R_0}$.

COMPRENDRE
Une interface d'acquisition ne mesure que des tensions par rapport à la masse. Pour suivre une intensité, on relève donc la tension aux bornes d'un conducteur ohmique : elle est proportionnelle à i.

1.2 À partir de la courbe $i(t)$ de la figure 1, montrer que l'intensité présente deux régimes différents ; les identifier et donner la date approximative du changement.

Sur la figure 1, l'intensité est maximale à la fermeture de K, puis elle décroît rapidement : c'est un **régime transitoire**.

Ensuite l'intensité ne varie plus et reste égale à environ 100 mA : c'est un **régime permanent**.

Régime transitoire puis régime permanent ; le changement a lieu vers $t \approx 80$ ms (2 divisions).

PIÈGE
L'axe des temps de la figure 1 est gradué à 40 ms par division, et non 100 ms comme sur les figures 4 et 5. La date n'est qu'approximative : toute valeur entre 60 et 80 ms convient.

1.3 Établir la relation entre la tension aux bornes du générateur, l'intensité i et les résistances R et R_0.

La lampe et le conducteur ohmique sont en série, traversés par le même courant i. Loi d'additivité des tensions :

$$E = u_R + u_{R_0}$$

Loi d'Ohm pour chacun des deux dipôles : $u_R = R\, i$ et $u_{R_0} = R_0\, i$.

$E = (R + R_0)\, i$

1.4 En déduire comment évolue, au cours du temps, la résistance R du filament, sachant qu'elle varie avec sa température.

D'après 1.3 : $R = \dfrac{E}{i} - R_0$, avec E et R_0 constantes.

Pendant le régime transitoire, i diminue, donc $\dfrac{E}{i}$ augmente : R augmente pendant que le filament s'échauffe.

En régime permanent, i est constante : R ne varie plus, le filament a atteint sa température finale.

R augmente avec la température du filament, puis reste constante à partir de $t \approx 80$ ms.

COMPRENDRE
Le filament froid est très peu résistant : à la fermeture, le courant est plusieurs fois plus intense qu'en fonctionnement normal. C'est pourquoi une lampe à incandescence « grille » le plus souvent à l'allumage.

1.5 Calculer la résistance du filament à la date $t_1 = 200$ ms.

Données utiles $E = 2{,}5$ V ; $R_0 = 4{,}6\ \Omega$; figure 1 : $i(t_1) = 100$ mA $= 0{,}10$ A

À $t_1 = 200$ ms (5 divisions), le régime permanent est établi et on lit $i = 0{,}10$ A.

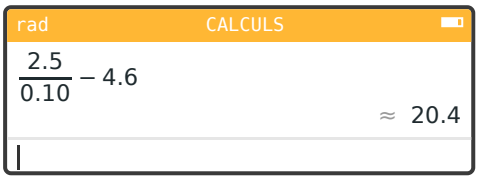
$$R = \frac{E}{i} - R_0 = \frac{2{,}5}{0{,}10} - 4{,}6 = 20{,}4\ \Omega$$

$R \approx 20\ \Omega$

PIÈGE
Laisser l'intensité en milliampères donne une résistance mille fois trop petite : convertir 100 mA en 0,10 A avant le calcul.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme E et R_0 ; la lecture graphique de i n'est pas plus précise.

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer approximativement la durée $\Delta t_{10\text{-}90}$ nécessaire pour que la puissance lumineuse passe de 10 % à 90 % de sa valeur maximale.

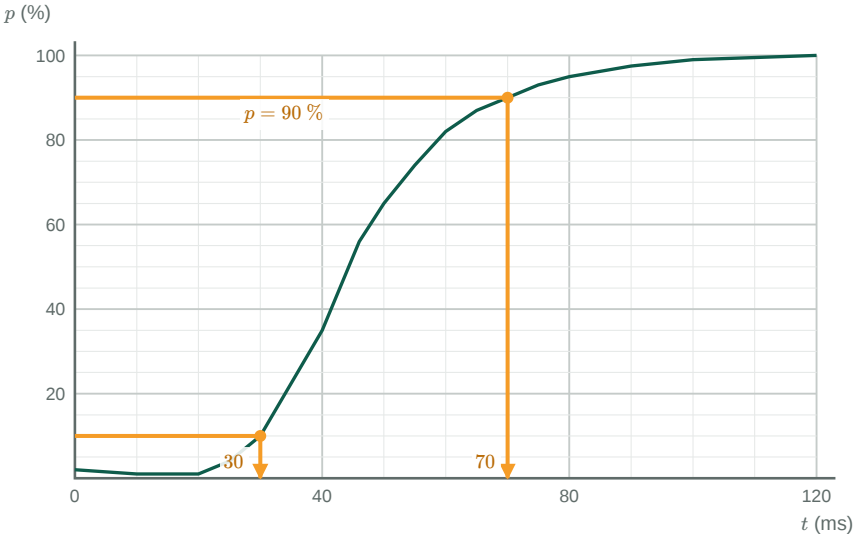
Sur la courbe $p(t)$ de la figure 1 (40 ms par division) :

- $p = 10$ % à la date $t \approx 30$ ms ;
- $p = 90$ % à la date $t \approx 70$ ms.

$\Delta t_{10\text{-}90} = 70 - 30$

$\Delta t_{10\text{-}90} \approx 40$ ms

MÉTHODE
Tracer les horizontales $p = 10$ % et $p = 90$ % (une demi-division au-dessus de 0 et au-dessous de 100), puis lire les deux dates par proportionnalité : une division de l'axe horizontal représente 40 ms.



2.1 · Début de la courbe $p(t)$ de la figure 1, avec les lectures à 10 % et à 90 %

2.2 L'œil voit la lampe allumée lorsque $p \geqslant 20$ %. Comment voit-il la lampe juste après la fermeture du circuit, lorsque l'intensité est maximale ? Justifier.

L'intensité est maximale à la date $t = 0$. À cet instant, la courbe $p(t)$ de la figure 1 donne une puissance lumineuse presque nulle, très inférieure à 20 %.

Juste après la fermeture, $p < 20$ % : l'œil voit la lampe **éteinte**, bien que le courant soit maximal.

COMPRENDRE
La lumière émise dépend de la température du filament, pas directement de l'intensité. Au début le courant est intense mais le filament est encore froid : il lui faut du temps pour s'échauffer.

2.3 Déterminer approximativement la « durée d'allumage » de la lampe, depuis la fermeture de l'interrupteur jusqu'à ce que l'œil la perçoive allumée.

La lampe paraît allumée dès que p atteint $20\ \%$. Sur la figure 1, la courbe $p(t)$ coupe l'horizontale $p = 20\ \%$ un peu avant la première division (40 ms).

Durée d'allumage : $\Delta t_{\text{all}} \approx 35$ ms

PIÈGE
Ne pas confondre avec $\Delta t_{10\text{-}90}$: la durée d'allumage se compte depuis $t = 0$, jusqu'au seuil de $20\ \%$.

3.1.1 Dans un circuit série (générateur de fem E, résistance R_0, bobine L, r), que peut-on dire de l'influence de la bobine sur l'évolution de l'intensité à la fermeture du circuit ?

Une bobine s'oppose aux variations de l'intensité du courant qui la traverse. À la fermeture du circuit, l'intensité ne passe donc pas instantanément de zéro à sa valeur finale : elle augmente progressivement.

La bobine retarde l'établissement du courant : le régime permanent n'est atteint qu'après un régime transitoire.

COMPRENDRE
La bobine et le circuit RL ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale ; le circuit RC de la partie 4, lui, y figure toujours.

3.1.2 Indiquer, sans justification, comment la valeur de l'inductance L intervient sur ce phénomène.

Plus l'inductance L est grande, plus le courant met de temps à s'établir (retard plus important).

COMPRENDRE
La constante de temps du circuit est $\tau = \dfrac{L}{R_0 + r}$: elle est proportionnelle à L, et le régime permanent est atteint au bout d'environ 5τ.

3.2.1 En comparant les premières parties des courbes $i(t)$ des figures 1 et 2, montrer que l'influence de la bobine est en accord avec la réponse 3.1.1.

Figure 1 (sans bobine) : l'intensité est maximale dès la date $t = 0$.

Figure 2 (avec la bobine L_1) : l'intensité part d'une valeur presque nulle, augmente progressivement et n'atteint son maximum que vers $t \approx 30$ ms.

Avec la bobine, le courant ne s'établit plus instantanément : c'est en accord avec 3.1.1.

PIÈGE
Les échelles verticales diffèrent : 100 mA par division sur la figure 1, 20 mA par division sur les figures 2 et 3. Le pic de la figure 2 est en réalité bien plus faible que celui de la figure 1.

3.2.2 Les courbes $i(t)$ des figures 2 et 3 sont-elles en accord avec la réponse 3.1.2 ?

Données utiles $L_1 = 0{,}13$ H (figure 2) ; $L_2 = 0{,}5$ H (figure 3)

L'intensité atteint son maximum vers $t \approx 30$ ms sur la figure 2 ($L_1 = 0{,}13$ H) et seulement vers $t \approx 75$ ms sur la figure 3 ($L_2 = 0{,}5$ H) : la montée du courant est plus lente quand L est plus grande.

Oui : $L_2 > L_1$ et le courant s'établit plus lentement sur la figure 3, en accord avec 3.1.2.

3.2.3 Comparer les « durées d'allumage » de la lampe dans le cas des figures 1, 2 et 3. Conclure.

Date à laquelle p atteint $20\ \%$:

- figure 1 (sans bobine) : $\Delta t_{\text{all}} \approx 35$ ms ;
- figure 2 ($L_1 = 0{,}13$ H) : $\Delta t_{\text{all}} \approx 100$ ms ;
- figure 3 ($L_2 = 0{,}5$ H) : $\Delta t_{\text{all}} \approx 120$ ms.

La bobine retarde l'allumage de la lampe, et ce retard est d'autant plus grand que l'inductance L est grande.

COMPRENDRE
Le courant s'établissant plus lentement, le filament reçoit moins d'énergie au début et s'échauffe plus tard. Sur les figures 2 et 3, p part d'environ $10\ \%$: c'est le bruit de fond du capteur, la lampe n'éclaire pas encore.

4.1 Avec le condensateur, l'intensité du courant tend vers zéro. Justifier qualitativement cette évolution.

À la fermeture de K, le condensateur, initialement déchargé, se charge : la tension u_C à ses bornes augmente et tend vers E.

Loi d'additivité des tensions : $E = u_C + (R + R_0)\, i$, soit $i = \dfrac{E - u_C}{R + R_0}$.

Quand u_C tend vers E, l'intensité i tend vers zéro : un condensateur chargé ne laisse plus passer le courant.

MÉTHODE
Autre justification : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. Quand le condensateur est chargé, u_C est constante, sa dérivée est nulle, donc $i = 0$.

4.2 En examinant $p(t)$ sur la figure 4, montrer que la lampe s'allume puis s'éteint, et déterminer l'ordre de grandeur de la durée pendant laquelle elle reste allumée.

Données utiles $C_1 = 15$ mF ; échelle : 100 ms par division

Sur la figure 4, p augmente, dépasse $20\ \%$ vers $t \approx 35$ ms (la lampe s'allume), passe par un maximum, puis redescend sous $20\ \%$ vers $t \approx 215$ ms (la lampe s'éteint).

Durée du flash : $215 - 35 = 180$ ms.

La lampe reste allumée environ 180 ms, soit un ordre de grandeur de $0{,}2$ s.

PIÈGE
La durée du flash n'est pas la date d'extinction : il faut retrancher la date d'allumage. Attention aussi à l'échelle, ici 100 ms par division.

4.3 Déterminer la durée approximative du flash dans le cas de la figure 5, la comparer à la précédente et en déduire l'influence de la capacité C sur la durée du flash.

Données utiles $C_2 = 37$ mF ; durée du flash pour $C_1 = 15$ mF : 180 ms (4.2)

Sur la figure 5, p dépasse $20\ \%$ vers $t \approx 30$ ms et repasse sous $20\ \%$ vers $t \approx 380$ ms.

Durée du flash : $380 - 30 = 350$ ms, soit environ $0{,}4$ s : elle est à peu près deux fois plus longue que pour C_1.

Flash d'environ 350 ms pour C_2 contre 180 ms pour C_1 : plus la capacité C est grande, plus le flash dure longtemps.

COMPRENDRE
Un condensateur de plus grande capacité se charge plus lentement : l'intensité décroît moins vite, le filament reste chaud plus longtemps.

4.4 Lorsque la lampe s'éteint, le condensateur est-il totalement chargé ? Justifier.

À l'instant où la lampe s'éteint ($t \approx 215$ ms sur la figure 4, $t \approx 380$ ms sur la figure 5), la courbe $i(t)$ montre que l'intensité n'est pas nulle : elle vaut encore un peu moins de 100 mA.

Or $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$: puisque $i \neq 0$, la tension u_C augmente encore.

Non : à l'extinction, un courant circule encore, donc le condensateur continue de se charger.

COMPRENDRE
La lampe s'éteint parce que le courant est devenu trop faible pour maintenir le filament à haute température, pas parce qu'il s'est annulé.