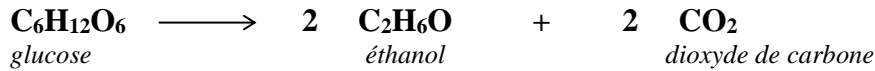


EXERCICE II : SUIVI DE LA FERMENTATION D'UN VIN (7,5 POINTS)

Le vin est obtenu par fermentation du jus de raisin.

Lors de la fermentation alcoolique, le glucose présent dans le raisin est dégradé en éthanol et en dioxyde de carbone CO_2 .



Lorsque la vinification est terminée, la concentration massique en CO_2 dans le vin se stabilise aux alentours de 400 mg.L^{-1} .

La fermentation alcoolique réclame toutefois certaines conditions. Il faut une température d'au moins 12°C pour que la fermentation commence. Au-delà d'environ $35\text{-}37^\circ\text{C}$ les levures meurent, ce qui stoppe le processus. La fermentation s'autorégule en provoquant elle-même la montée en température du moût, et les cuves inox ont l'avantage d'être équipées pour réguler cette température si besoin. Dans l'exploitation viticole qui nous intéresse ici, la température des cuves est maintenue à 25°C pendant tout le processus de fermentation.

Dans un laboratoire d'œnologie, le suivi de la fermentation peut se faire par une mesure directe de la concentration en CO_2 selon une technique spectrophotométrique.

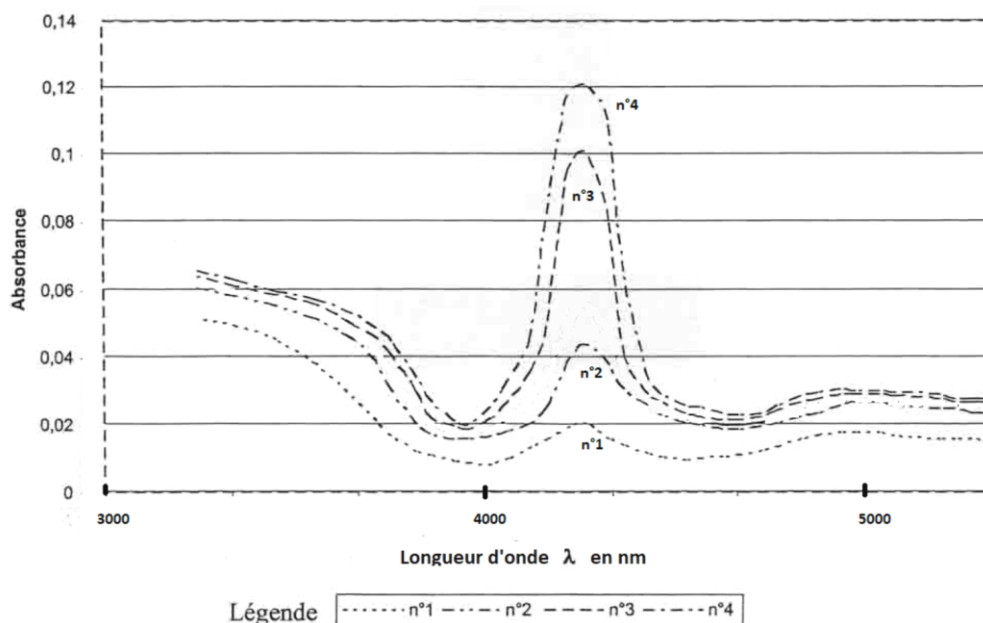
Le viticulteur a fourni un échantillon de son jus de raisin au laboratoire et demande une estimation précise de la durée de la fermentation.

Le technicien du laboratoire a réalisé des spectres d'absorption de radiations électromagnétiques par des solutions aqueuses de dioxyde de carbone $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ de concentrations connues numérotées de 1 à 4 (**document 1**). Chacun des quatre spectres a permis d'associer des valeurs d'absorbance à des valeurs de concentrations en CO_2 (**document 2**).

Le technicien a ensuite procédé en trois étapes :

- **Etape 1** : tracé d'une courbe d'étalonnage permettant de connaître la relation directe entre absorbance et concentration en CO_2 .
- **Etape 2** : mesures de l'absorbance du jus de raisin fourni par le viticulteur à différentes dates, avec pour objectifs l'obtention de courbes temporelle $A_{\lambda(\text{max})} = f(t)$ (**document 3**), puis exploitation de ces courbes (déterminations de la concentration massique en CO_2 dans le jus fermenté ainsi que de la durée de la fermentation dans les cuves de l'exploitation viticole).
- **Etape 3** : communication des résultats au viticulteur.

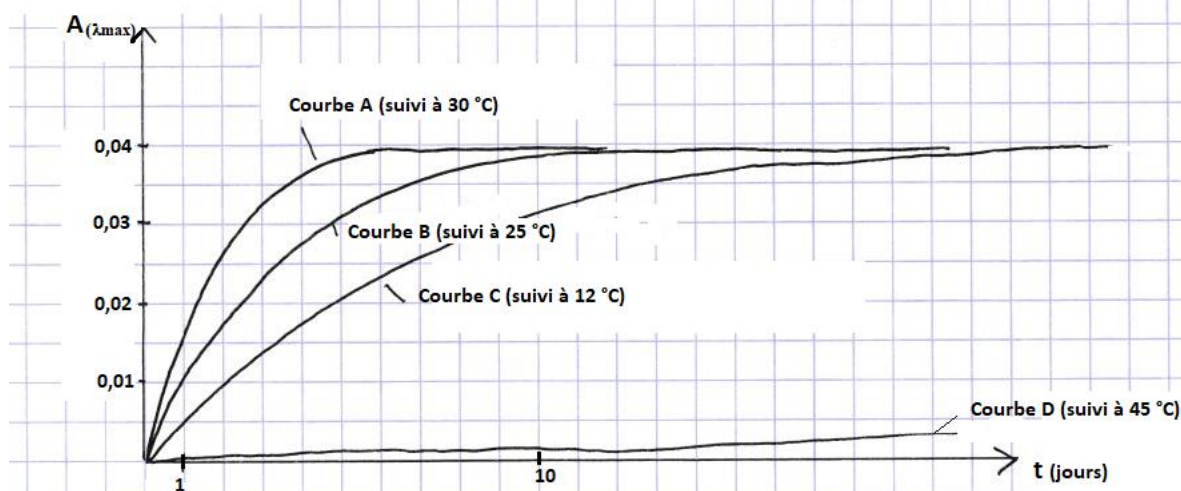
Document 1 : Spectres des solutions 1 à 4



Document 2 : Absorbance et concentration en CO₂.

Solution	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Concentration en mol.L ⁻¹	4,0×10 ⁻³	1,0×10 ⁻²	2,4×10 ⁻²	3,0×10 ⁻²
A (à λ _{max})	0,018	0,042	0,101	0,126

Document 3 : Suivis cinétiques A(λ_{max}) = f(t) réalisés à différentes températures



1. Les questions préliminaires que se pose le viticulteur.

1.1. A quelle longueur d'onde λ_{max} les mesures d'absorbance du document 2 ont-elles été réalisées ?
(On présentera le résultat avec deux chiffres significatifs)

On acceptera 4,2 ou 4,3 ×10³ nm

0,25 pt

1.2. La couleur du jus de raisin est-elle gênante pour les mesures d'absorption réalisée à λ_{max} ?

Non puisque le λ_{max} n'appartient pas au domaine des longueurs d'onde visibles (domaine raisonnablement délimité par l'élève).

0,5 pt

Remarque : on se trouve dans le domaine des infra-rouge

1.3. Pourquoi choisir de travailler à λ_{max} ?

0,25 pt

Pour plus de précision dans le résultat la valeur de A (ou toute autre proposition raisonnable).

Nous avons détaillé cette discussion en cours

On considère que seul CO₂ est responsable de l'absorption de radiations à la longueur d'onde λ_{max}, la loi de Beer-Lambert, reliant absorbance et concentration peut être présentée de la façon suivante :

$$A = \varepsilon \times l \times [\text{CO}_2]$$

Avec :

- A, l'absorbance à λ_{max} ;
- ε, le coefficient d'absorption molaire de CO₂ à λ_{max} ;
- l, la longueur de liquide (jus de raisin filtré) traversé lors de la mesure (en cm) ;

- $[CO_2]$, la concentration en dioxyde de carbone (en $mol.L^{-1}$).

1.4. Quelle est l'unité de ϵ ? **$L.mol^{-1}.cm^{-1}$** **0,25 pt**

1.5. Comment préparer 100,0 mL de la solution n°1 à partir de la solution n°3 ?

On désignera clairement dans la liste qui suit la verrerie utilisée et on justifiera la valeur du volume de solution n°3 à prélever :

- Pour les 100,0 mL de solution n°1 (solution fille) :
fiolle jaugée de 100,0 mL, éprouvette de 100 mL, bécher de 100 mL.
- Pour le prélèvement de la solution n°3 (solution mère) :
pipette jaugée de 10 mL, pipette jaugée de 20 mL, burette graduée de 25 mL.

Justification du volume à prélever **0,5 pt**

La quantité de matière prélevée dans la solution n°3 se retrouve dans la solution n°1

Le volume de solution n°1 vaut 100 mL, le volume de solution à prélever est noté V_3

$$V_3 = \frac{c_1 V_1}{c_3} = 16,7 \text{ mL}$$

Justification verrerie (fiolle 100 et burette graduée) **0,5 pt**

2. Tracé et exploitation de la courbe d'étalonnage

2.1. Sur le cadre quadrillé **fourni en ANNEXE ET A RENDRE AVEC LA COPIE**, tracer la courbe d'étalonnage correspondant aux données fournies dans le **document 2** (une échelle est proposée, voir annexe). **0,25 pt**

2.2. La loi de Beer-Lambert est-elle vérifiée ? (justifier la réponse) **0,5 pt**

Points alignés entre eux et avec l'origine, relation linéaire, de proportionnalité, ...

2.3. En expliquant votre méthode, donner la relation numérique entre l'absorbance $A_{(\lambda_{max})}$ et la concentration molaire en dioxyde de carbone $[CO_2]$. **0,5 pt**

Mesure du coefficient directeur de la droite d'étalonnage (avec un point de la droite si elle passe rigoureusement par (0,0) : 4,2 à 4,3 (c'est el)

2.4. A partir du résultat précédent, justifier la relation suivante donnant l'expression de c_{mass} la concentration massique en CO_2 (en $mg.L^{-1}$) en fonction de $A_{\lambda(\max)}$:

$$c_{mass} = 1,05 \times 10^4 \times A_{\lambda(\max)} \quad \text{Donnée : masse molaire de } CO_2 : M = 44,0 \text{ g.mol}^{-1}.$$

Il faut arriver à la relation $c_{mass} = \frac{44 \times A}{\epsilon l}$ **0,5 pt**

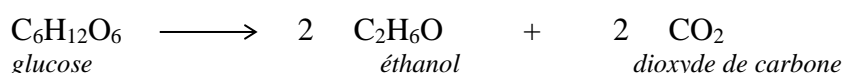
Cette relation devra être utilisée dans la partie 3) qui suit.

3) Suivis cinétiques

3.1. En vous aidant des courbes A, B ou C du document 3, déterminer la concentration finale en CO_2 dans le jus fermenté. **0,5 pt**

On se cale à l'asymptote $A = 0,04$, ce qui donne avec la relation précédente $c_{mass} = 420 \text{ mg.L}^{-1}$

L'équation de la réaction de fermentation est rappelée :



3.2. Lorsque la réaction a atteint son état final dans un volume $V = 100$ mL de jus fermenté, justifier que son avancement vaut alors $x_f = 4,8 \times 10^{-4}$ mol.

0,42 mg.L⁻¹ 0,042 g dans 100 mL 9,5×10⁻⁴ mol de CO₂ 4,8×10⁻⁴ mol d'avancement 0,5 pt

4) Communication

Différentes courbes de suivis cinétiques sont finalement présentées au viticulteur (**document 3**).

4.1. Dans le cadre de l'étude d'une transformation chimique qu'appelle-t-on facteur cinétique ?

Paramètre dont la valeur influence la durée de la réaction chimique. 0,25 pt

4.2. Quel facteur cinétique est mis en évidence sur le graphe fourni au viticulteur si l'on compare les différentes courbes proposées ?

Température 0,25 pt

4.3. Expliquer la courbe D de ce graphe.

Courbe à plus de 37 °C, or (texte) : « Au-delà d'environ 35-37°C les levures meurent, ce qui stoppe le processus. »... Donc quasiment pas d'avancée. 0,5 pt

4.4. Résultat pour le viticulteur : quelle est approximativement la durée de la fermentation alcoolique dans les cuves de son exploitation ? (on présentera clairement le raisonnement utilisé)

Le viticulteur regardera la courbe B (25 °C comme dans ces cuves) et considèrera qu'il n'y a plus d'évolution au bout de 12 jours 0,5 pt

4.5. Résultat pour le technicien : que vaut $t_{1/2}$ le temps de demi-réaction de la fermentation dans les cuves de l'exploitation appartenant au viticulteur ? (On présentera clairement la méthode employée pour la détermination de $t_{1/2}$)

2,5 jours (avec méthode graphique clairement décrite (toujours courbe B) 0,5 pt

4.6. En observant de plus près une des courbes, par exemple la C, le viticulteur s'interroge et pense que la réaction de fermentation est de plus en plus lente au fur et à mesure qu'elle avance.

- Expliquer quel aspect de la courbe permet de considérer que le viticulteur voit juste.

La pente de la courbe est de plus en plus faible etc . (toute description cohérente acceptée), la réaction est de plus en plus lente. 0,25 pt

- Indiquer quel facteur cinétique est responsable de ce ralentissement.

Concentration en réactifs 0,25 pt