

LA CHAPTALISATION

L'usage d'une calculatrice et de la classification périodique est autorisé.

Cet exercice se propose d'étudier le procédé de chaptalisation décrit par Jean-Antoine Chaptal dans son essai « L'art de faire, de gouverner et de perfectionner les vins ».



1. Fermentation alcoolique du glucose : En 1801, Jean-Antoine Chaptal écrit :

« Le principe sucré existe dans le moût*, il disparaît par la fermentation et est remplacé par l'alcool qui caractérise essentiellement le vin. » Le sucre mentionné est du glucose contenu dans le jus de raisin, de formule brute $C_6H_{12}O_6$ qui, sous l'action des levures de la peau du raisin, se transforme en éthanol (de formule brute C_2H_6O).

Cette réaction, dite fermentation alcoolique, produit également du dioxyde de carbone (de formule brute CO_2).

* Le moût désigne la mixture obtenue après pression ou cuisson de fruits ou d'autres produits destinés à la fermentation.

Écrire l'équation de la réaction de formation de l'éthanol lors de la fermentation alcoolique du glucose.

Les levures sont des catalyseurs, ce sont des espèces chimiques qui rendent la réaction plus rapide mais qui sont régénérés au cours de la réaction : des catalyseurs ne doivent donc pas apparaître dans l'équation de réaction.

2. Fermentation alcoolique du saccharose : Plus loin, Chaptal précise : « Comme le but et l'effet de la fermentation spiritueuse se réduisent à produire de l'alcool, en décomposant le principe sucré, il s'ensuit que la formation de l'un est toujours en proportion de la destruction de l'autre [...] c'est pour cela qu'on augmente à volonté la quantité d'alcool, en ajoutant du sucre au moût qui paraît en manquer. » Cette méthode d'ajout de sucre a gardé son nom, la chaptalisation.

Le sucre utilisé pour la chaptalisation est le saccharose, solide de formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$. Lors de la transformation du saccharose en éthanol, l'autre réactif est l'eau, l'autre produit formé est le dioxyde de carbone (obtenu à l'état gaz).

2.1. Équilibrez l'équation de réaction dans le tableau d'avancement ci-dessous :

Equation chimique		$1 C_{12}H_{22}O_{11} (...) + ... H_2O (...) \rightarrow 4 C_2H_6O (...) + ... CO_2 (...) / 3$			
Etat du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
Etat initial	0	n_1	n_2		/ 0,25
Etat en cours de transformation	x				
Etat final	x (max)	/ 0,5	/ 0,5	/ 0,5	/ 0,25

On appelle degré alcoolique d'un vin d° , le volume V (exprimé en mL) d'éthanol pur présent dans 100 mL de ce vin. Par exemple, lorsque $d^\circ = 7$, cela veut dire que dans 100 mL de vin, il y a 7 mL d'éthanol pur. On s'intéresse à la quantité de saccharose à ajouter pour augmenter le degré alcoolique d'un vin. Données :

- > Masse volumique de l'éthanol, à l'état liquide : $\rho = 0,79 \text{ g.mL}^{-1}$;
- > Masses molaires : $M(\text{éthanol}) = 46 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{saccharose}) = 342 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{glucose}) = 180 \text{ g.mol}^{-1}$.

2.2. En considérant la fermentation alcoolique à partir du saccharose comme une réaction totale, quelle est la relation liant la quantité de matière de saccharose initiale notée $n(\text{saccharose})$ à la quantité de matière finale d'éthanol obtenue notée $n(\text{éthanol})$? Pour répondre à cette question, on remplira et utilisera le tableau d'avancement précédent, en supposant que l'eau est le réactif en excès (le saccharose est alors le réactif limitant).

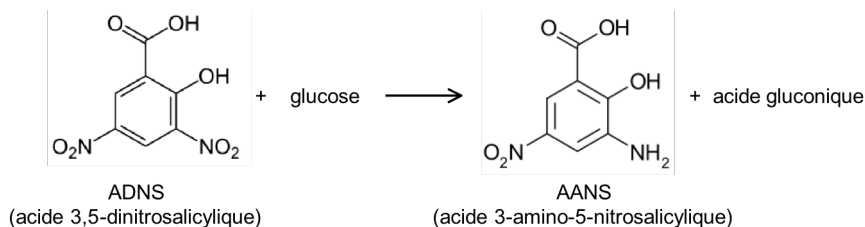
On utilisera seulement les symboles : n_1 , n_2 , x, x_{max} , les nombres stoechiométriques nécessaires, sans aucune valeur chiffrée (sauf la valeur zéro, si nécessaire)

2.3. Montrer que la quantité de matière d'éthanol correspondant à l'augmentation d'un degré alcoolique d'un litre de vin est égale à $1,7 \times 10^{-1} \text{ mol}$.

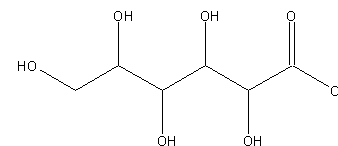
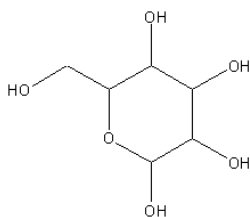
2.4. En déduire la masse théorique initiale de saccharose à utiliser pour augmenter le degré alcoolique d'un litre de vin de 1° :

Dans l'appellation muscadet, la chaptalisation est autorisée si la teneur en glucose du moût est inférieure à 161 g.L⁻¹. Pour savoir s'il est possible légalement d'ajouter du saccharose dans le moût de ce vin, il est nécessaire de doser le glucose qu'il contient.

Principe du dosage :



On oxyde, à chaud et en milieu basique, le glucose par l'acide 3,5-dinitrosalicylique (ADNS). Cette réaction produit l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique (AANS) qui est une espèce colorée et de l'acide gluconique. Voici les formules topologiques du glucose (à gauche), de l'acide gluconique (à droite)



Une fois la réaction avec le ADNS terminée, l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique (AANS) formé est dosé par spectrophotométrie visible. Cette réaction étant totale et le ADNS étant en excès, la quantité d'acide formé est proportionnelle à la quantité de glucose oxydé.

3.1. Donnez à droite de la formule topologique du glucose, la formule semie développée correspondante.

Fig 2 : Spectre UV visible de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (ADNS)

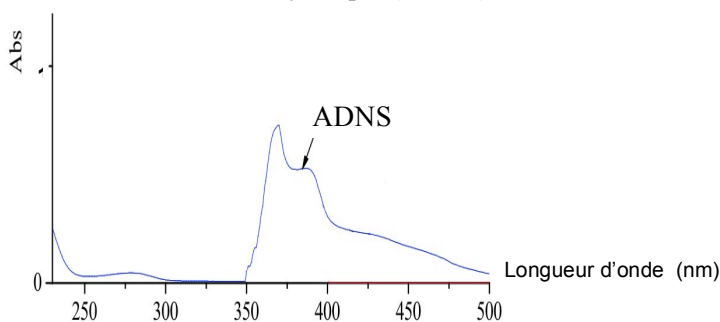
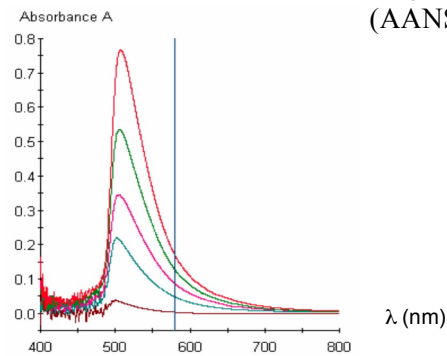


Fig 3 : Spectre visible de l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique (AANS)



3.2. A partir du profil spectral UV-visible en absorbance du ADNS (voir Fig 2), expliquez pourquoi le ADNS est de couleur jaunâtre (dans l'eau) :

3.3. Une fois la réaction terminée, quelle est, d'après vous, la couleur de la solution aqueuse :
 Bleu Vert Rouge Jaune Magenta Cyan ?

Choisir la réponse correcte. Aucune justification n'est demandée.

3.4. Pouvaient-on prévoir, à partir des 2 formules topologiques proposées, que les 2 molécules ADNS et AANS étaient colorées (dans l'eau) ? Argumentez.

3.5. On peut connaître la quantité d'acide 3-amino-5-nitrosalicylique (AANS) formé en se référant à l'absorption de ce colorant en solution aqueuse . On peut soit :

cas 1 : utiliser la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption

cas 2 : utiliser une longueur d'onde proche de la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption (voir le trait vertical apparaissant sur la Fig 3).

Si on désirait utiliser un colorimètre et non un spectrophotomètre classique , quelle serait la couleur de la DEL émettrice dans le cas 1 :

Bleu Vert Rouge Jaune Magenta Cyan ?

Choisir la réponse correcte. Aucune justification n'est demandée.

Protocole du dosage :

Étape 1 : à partir d'une solution mère de glucose de concentration molaire $C(\text{glucose}) = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et d'une solution contenant le ADNS, un groupe d'élèves prépare cinq solutions dont ils mesurent les absorbances, une fois la réaction d'oxydation achevée. Les volumes utilisés pour préparer ces solutions et les valeurs des absorbances mesurées sont indiqués dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1

solution	1	2	3	4	5
Volume de solution mère (mL)	0	0,30	0,60	0,90	1,20
Volume réactif contenant le ADNS (mL)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Volume eau distillée (mL)	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8
Absorbance A	0	0,25	0,51	0,74	1,1
Concentration molaire de glucose C (mol/L)					$2,4 \cdot 10^{-3}$

Étape 2 : le groupe d'élèves prépare une solution X en diluant 50 fois une solution de moût du raisin Muscadet .

Le groupe d'élèves prépare ensuite une solution Y à partir de la solution X en utilisant les volumes suivants puis mesure la valeur de l'absorbance A (voir tableau 2 ci-joint)

Tableau 2

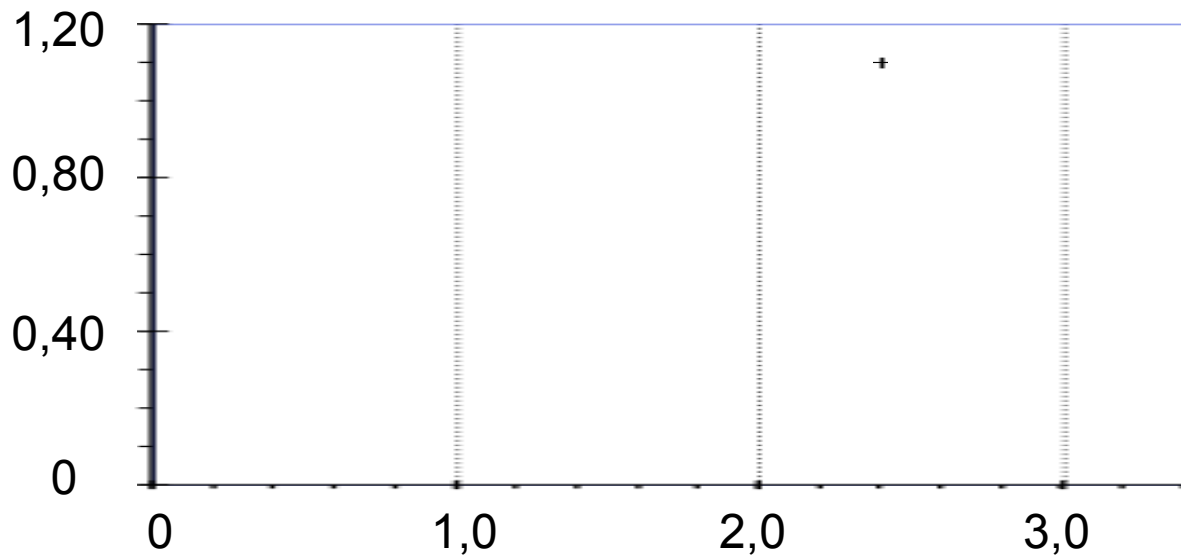
solution	Y
Volume du moût de raisin dilué ou volume de solution X utilisé (mL)	0,40
Volume réactif contenant le ADNS (mL)	2,0
Volume eau distillée (mL)	2,6
Absorbance A	0,55

Exploitation :

4.1. Pourquoi a-t-on dilué le moût avant de préparer la solution Y ?

4.2. Complétez la dernière ligne du tableau 1 (concentration molaire de glucose) On donnera l'expression utilisée puis on réalisera un seul calcul, ci-dessous :

4.3. Tracez la courbe représentant l'absorbance A en fonction de la concentration molaire de glucose C.



4.4. La loi de Beer Lambert est suivie dans ce cas. Comment le voit-on à partir de la courbe ? Argumentez.

4.5. Déterminez la concentration molaire du glucose dans la solution Y.

On peut montrer, possédant la valeur de la concentration molaire du glucose dans la solution Y et en prenant en compte des dilutions successives, que la concentration molaire initiale en glucose dans le moût de jus de raisin a pour valeur : 0,78 mol/L.

4.6. Est-il possible de rajouter du saccharose dans ce moût du raisin pour ce type de Muscadet dans le respect de la réglementation ? Argumentez.

--	--

Correction : 2 sujets (voir en dessous correction) initialement prévue sur 52 pts prévues (mn élèves) ramené à 20. Sur 45 pts en réalité (mn élèves) car trop long, moyennes sur 2 classes INTER 11,5, non INTER 9,5 /20 A photocopier sur format A3 (les 2 1^{ère} page A4 + 2 suivantes)

Ce sujet est réaménagé par rapport à celui du BAC S 2013 : je vous conseille d'aller voir que ce qu'était l'énoncé réel

1. Equation de la réaction de formation de l'éthanol lors de la fermentation alcoolique du glucose.

(/1,5) réponse : $1 \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ (s)} \rightarrow 2 \text{ C}_2\text{H}_6\text{O} \text{ (liq)} + 2 \text{ CO}_2 \text{ (gaz)}$
 formules brutes correctes (0,25*3) nb stoechio corrects : (0,25*3) + états physiques cohérents (aq) corrects bonus+ (0,25*3)

2.1. Equilibrez l'équation de réaction dans le tableau : *autre énoncé : doublez les nombres stoechiométriques : même raisonnement.*

Equation chimique		$1 \text{ C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \text{ (s)} + 1 \text{ H}_2\text{O} \text{ (liq)} \rightarrow 4 \text{ C}_2\text{H}_6\text{O} \text{ (aq ou liq)} + 4 \text{ CO}_2 \text{ (gaz)} /3$			
Etat du système		= 2*1 + 1 = /3 : nb stoechiométrique faux 0,5 / si états physiques cohérents : aq corrects : 1			
Etat initial	0	n_1	n_2	0	0 /0,5
Etat en cours de transformation	x	$n_1 - x$	$n_2 - x$	4x	4 x
Etat final	x (max)	$n_1 - x \text{ (max)}$ /0,5	$n_2 - x \text{ (max)}$ /0,25	4x (max) /0,5	4 x (max) /0,25

2.2. Si la fermentation alcoolique est une réaction totale, quelle est la relation liant la quantité de matière de saccharose initiale notée n(saccharose) à la quantité de matière finale d'éthanol obtenue notée n(éthanol) ?

(/3,5) remplissage tableau (+ 2 pts déjà comptés, voir tableau)
 $n_1 - x \text{ (max)} = 0$ (0,5) car le saccharose est le réactif limitant (1) d'où $x \text{ (max)} = n_1$ (0,5) et $n(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 4 x \text{ (max)} = 4 n_1$ (1,5)

2.3. Montrer que la quantité de matière d'éthanol pour augmenter de 1° alcoolique de 1 L de vin est $1,7 \times 10^{-1}$ mol.

(/5) réponse : Pour augmenter le degré d'alcool de 1°, il faut 1 mL (0,5) d'éthanol pur liquide (0,5) (pour 100 mL de vin)
 Alors la masse correspondante pour 100 mL de vin est m (éthanol)
 $m(\text{éthanol (liq)}) = V(\text{éthanol (liq)}) * \rho (\text{éthanol (liq)}) = 1 * 0,79 = 0,79 \text{ g}$ d'où $n (\text{éthanol (liq)}) = m(\text{éthanol (liq)}) / M (\text{éthanol (liq)}) = 0,79 / 46 = 0,017 \text{ mol}$
 (0,25) (0,25) (0,25*2) (0,75) (0,25) (0,25) (0,25*2) (0,75)
 pour 1000 mL de vin alors est $n (\text{éthanol}) = 0,17 \text{ mol}$ (0,5)

(page / 15)

2.4. En déduire la masse théorique initiale de saccharose à utiliser pour augmenter de 1° de 1 L de vin :

(/3) réponse : En suivant la notation tableau : indice 1 correspond au saccharose alors
 $n_1 = n(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) / 4 = 0,17 / 4 = 4,25 \times 10^{-2} \text{ mol}$ d'où $m_1 = n_1 * M_1 = 4,25 \times 10^{-2} * 342 = 14,5 \text{ g}$ ou 15 g
 (0,25) (0,25) (0,25*2) (0,5) (0,25) (0,25) (0,25*2) (0,5)

3.1. Donnez la formule topologique du glucose (AANS), la formule semie développée (/3) 1 erreur (0,5) , 2 erreurs (0)

3.2. A partir du profil UV-visible en absorbance (voir Fig 2), expliquez la couleur jaunâtre (dans l'eau) de l'ADNS

(/4) réponse : L'absorption de la couleur pour le ADNS en solution aqueuse a surtout lieu dans la zone de longueur d'onde comprise entre 400 nm et 500 nm (1) , ce qui correspond à la gamme de couleur Violet / Bleu (1) . On verra donc pour une solution aqueuse de ce colorant la couleur complémentaire (1) : c'est à dire jaune. (1)

ou *autre énoncé :* 3.2. A partir du profil spectral visible en absorbance du AANS (voir Fig 3), donnez la couleur du colorant AANS (dans l'eau) : Choisir la réponse correcte puis argumentez.

réponse : L'absorption de la couleur pour le AANS en solution aqueuse a surtout lieu dans la zone de longueur d'onde comprise entre 500 nm et 600 nm (1) , ce qui correspond à la gamme de couleur Vert / Jaune (1) . On verra donc pour une solution aqueuse de ce colorant la couleur complémentaire (1) : c'est à dire (choix dans case) Magenta. (1)

3.3. (/1) réponse : Une fois la réaction terminée, la couleur de la solution aqueuse est : rouge (1) jaune (1) magenta (0,5)

Si le ADNS en excès absorbe la gamme de couleur Violet / Bleu et le AANS formé en quantité voisine absorbe la gamme de couleur Vert / Jaune alors couleur de solution alors rouge . Si le ADNS en très large excès absorbe la gamme de couleur Violet / Bleu et le AANS formé absorbe peu la gamme de couleur Vert / Jaune : couleur de solution alors jaune

Choisir la réponse correcte. Aucune justification n'est demandée.

(page / 11)

3.4. Pouvait-on prévoir, à partir des 2 formules topologiques proposées, que les 2 molécules ADNS et AANS étaient colorées (dans l'eau) ? Argumentez.

(/3) réponse : Pour un grand nombre de doubles liaisons conjuguées (1) (supérieure à 8) (1) on sait que la molécule est colorée , ici on ne pouvait le prévoir (on en voit 4) (1)

Attention Remarque : si cette question est posée alors celle sur « Que signifie pour une solution une valeur de A = 0 ? » ne l'est pas et vis versa, qui sera aussi sur 3 pts

3.5. (1) Si on utilise un colorimètre, quelle serait la couleur de la DEL émettrice dans le cas 1 (ou 2) : Choisir la réponse correcte. Aucune justification demandée : réponse : cas 1 : longueur d'onde au maximum d'absorption : **Vert** cas 2 : longueur d'onde proche de la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption **Jaune**

4.1. Pourquoi a-t-on dilué le moût avant de préparer la solution Y ?

(/3) réponse : Il faut diluer le moût de raisin car sinon la valeur de l'absorbance est trop importante (1,5) , pour être dans la gamme d'étalonnage du tableau 1 (1,5) (absorbance maximale A = 1,1) , la concentration trop élevée (50 fois supérieure aurait donné si la loi de Beer Lambert était suivie une absorbance A = 50*0,55 = 27,5 !)

4.2. Complétez la dernière ligne du tableau 1 On donnera l'expression utilisée puis on réalisera un seul calcul

solution	1	2	3	4	5
Volume de solution mère (mL)	0	0,30	0,60	0,90	1,20
Volume réactif contenant le ADNS (mL)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Volume eau distillée (mL)	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8
Absorbance A	0	0,25	0,51	0,74	1,1
Concentration molaire de glucose C (mol/L)	0	6.10^{-4}	$1,2.10^{-3}$	$1,8.10^{-3}$	$2,4.10^{-3}$

(/6) (/2 + /4) réponse : remplir tableau (2 = 0,5 * 4) + C(fille) = C(mère) V(mère) / V(fille) = $1,0.10^{-2} * 1,2 / 5 = 2,4.10^{-3}$ mol/L

(1) (0,5) (1) (1) (0,5) pas unité 0

autre énoncé : ... solution	1	2	3	4	5
Volume de solution mère (mL)	0	0,40	0,80	1,20	1,60
Volume réactif contenant le ADNS (mL)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Volume eau distillée (mL)	3,0	2,6	2,2	1,8	1,4
Absorbance A	0	0,25	0,51	0,74	1,1
Concentration molaire de glucose C (mol/L)	0	8.10^{-4}	$1,6.10^{-3}$	$2,4.10^{-3}$	$3,2.10^{-3}$

réponse : C(fille) = C(mère) V(mère) / V(fille) = $1,0.10^{-2} * 1,6 / 5 = 3,2.10^{-3}$ mol/L

(1) (0,5) (1) (1) (0,5) pas unité 0 + remplir tableau (1 = 0,25 * 4)

Beaucoup d'élèves n'ayant pas vu que seul le tableau 1 devait être utilisé (ainsi que la notion de dilution), si les valeurs du tableau ont été données par application de Beer Lambert, les valeurs ont été acceptées mais notées / 1,5. Le calcul et l'expression littérale demandés noté sur 2 et non sur 4 : en effet c'est seulement à partir des questions 4.4 ou 4.5 que l'énoncé disait que la loi de Beer Lambert était suivie

Question posée si 3.5 non posée : On rappelle que $A = \log(I_0 / I)$ 4.3. Que signifie, pour une solution, aux niveaux des intensités lumineuses, une valeur mesurée pour l'absorbance : A = 1 ?

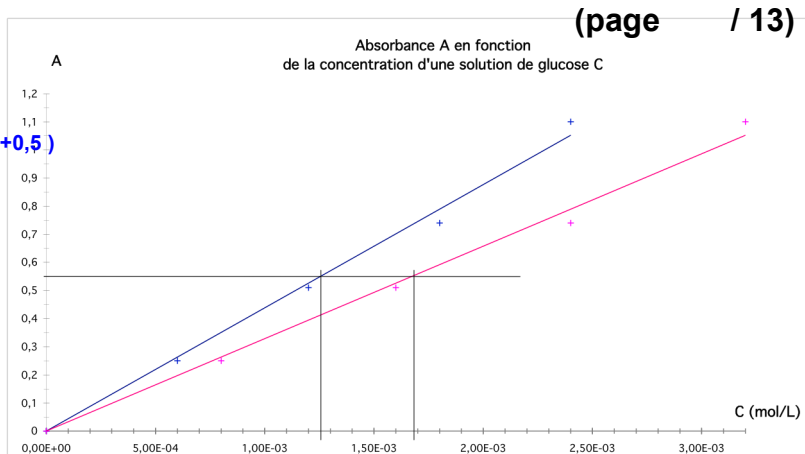
réponse : Une valeur A = 1 signifie que l'intensité lumineuse recueillie par le capteur (0,75) est égale à au 1 / 10¹ (ou 10¹ fois plus petite) (1,5) que celle mesurée pour l'échantillon de référence (0,75) (le solvant généralement). En effet $A = \log(I_0 / I_0 / 10) = \log 10 = 1$ (+1)

4.4. Tracez la courbe A = f(C).

(/3) réponse : par points placés (2 = 0,5 * 4) droite tracée (1) choisie représentant le mieux (bonus +0,5) le modèle proportionnel. En ordonnée A (0,5) En abscisse C + mol/L (0,25 * 2)

4.5. La loi de Beer Lambert est suivie dans ce cas. Comment le voit-on ? Argumentez.

(/2) réponse : L'absorbance est proportionnelle à la concentration de l'espèce colorée en solution (1) On observe en effet une droite (0,5) passant par l'origine (0,5) Si seulement A = k*C (0,5)



4.6. Déterminez la concentration molaire du glucose dans la solution Y.

(/3) réponse : On utilise la relation de proportionnalité correctement écrite en expression littérale avec calcul correct On utilise la courbe (tracé de l'intersection (1)) : C (Y) = $1,25.10^{-3}$ mol/L (2) autre énoncé : C (Y) = $1,55.10^{-3}$ mol/L (1,6 accepté)

On peut montrer, que la concentration molaire initiale en glucose dans le moût de jus de raisin est de 0,78 mol/L. (autre énoncé 0,97 mol/L.) 4.7. Est-il possible de rajouter du saccharose dans ce moût du raisin pour ce type de Muscadet dans le respect de la réglementation ? Argumentez.

(/5) réponse : La concentration massique du glucose est Cm (glucose) = C * M (glucose) (0,25 + 0,5), on peut aussi raisonner sur la masse pour 1L de solution Cm (glucose) = 0,78 * 180 = 140 g/L Autre énoncé : Cm (glucose) = 0,97 * 180 = 175 g/L

(0,25) (1) (1) (1)

or la limite légale est de 164 g/L donc la chaptalisation est permise dans ce cas (pas dans l'autre énoncé) (1)