BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Obligatoire

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

L'usage d'une calculatrice EST autorisé.

« Conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999 »

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1 à 15.

Le document réponse page 15 est à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de 3 exercices indépendants les uns des autres.

Le candidat doit traiter les trois exercices.

EXERCICE I - UN ÉTONNANT ASCENSEUR À BATEAU : THE FALKIRK WHEEL (6 points)

La **Roue de Falkirk** (en anglais *Falkirk Wheel*) est un ascenseur rotatif à bateaux, reliant le canal inférieur (Forth and Clyde Canal) au canal supérieur (Union Canal), près de la ville de Falkirk dans le centre de l'Écosse.

L'ouverture de l'ascenseur en 2002 a permis le passage des bateaux d'un canal à l'autre.
L'édifice se substitue à un ancien escalier d'écluses.





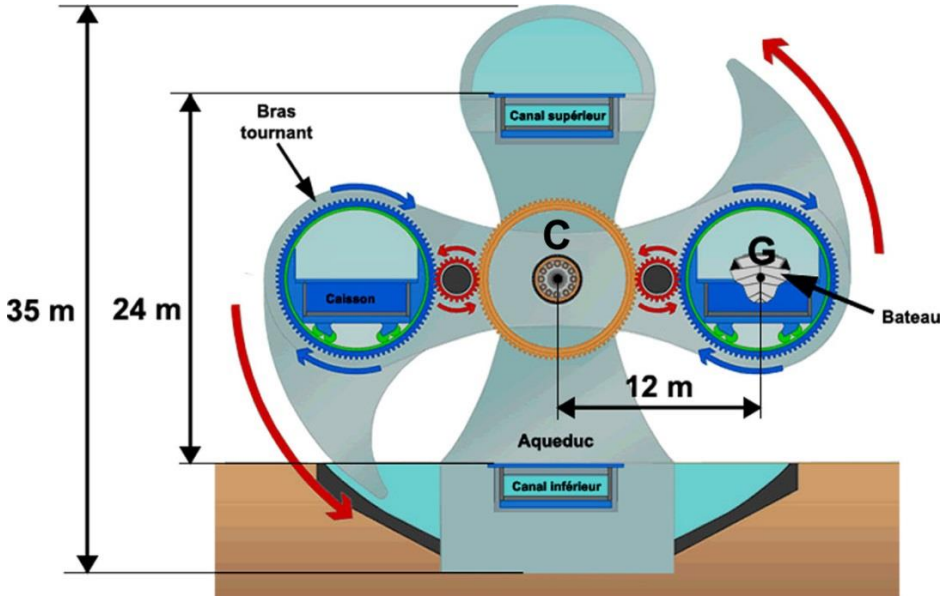


Schéma de la roue de Falkirk (vue de face)

La Roue de Falkirk mesure 35 mètres de haut.
Le système d'ascenseur permet d'élever les bateaux d'une hauteur de 24 m.
La durée d'une ascension d'un godet avec son bateau est estimée à 5 min 30 s.
Le bras tournant comporte deux godets remplis d'eau situés à chacune de ses extrémités.
Un système de roues dentées permet la rotation du bras tout en maintenant l'eau à l'horizontale dans les godets.
La masse totale d'un godet avec l'eau et le bateau peut être estimée à 500 tonnes.
La distance entre C le centre de la roue et le centre du godet (G) est de 12 m.

Un joule est égal à un wattseconde : 1 J = 1 W.s
Un wattheure vaut 3600 joules : 1 Wh = 3600 J
Dans tout l'exercice, on notera v la valeur du vecteur vitesse $\vec{v}$. De même, on notera a la valeur du vecteur accélération $\vec{a}$.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Partie A : Étude du mouvement

Le système considéré est constitué d'un godet contenant de l'eau et un bateau. Il est assimilé à un point matériel noté G correspondant au centre du godet.

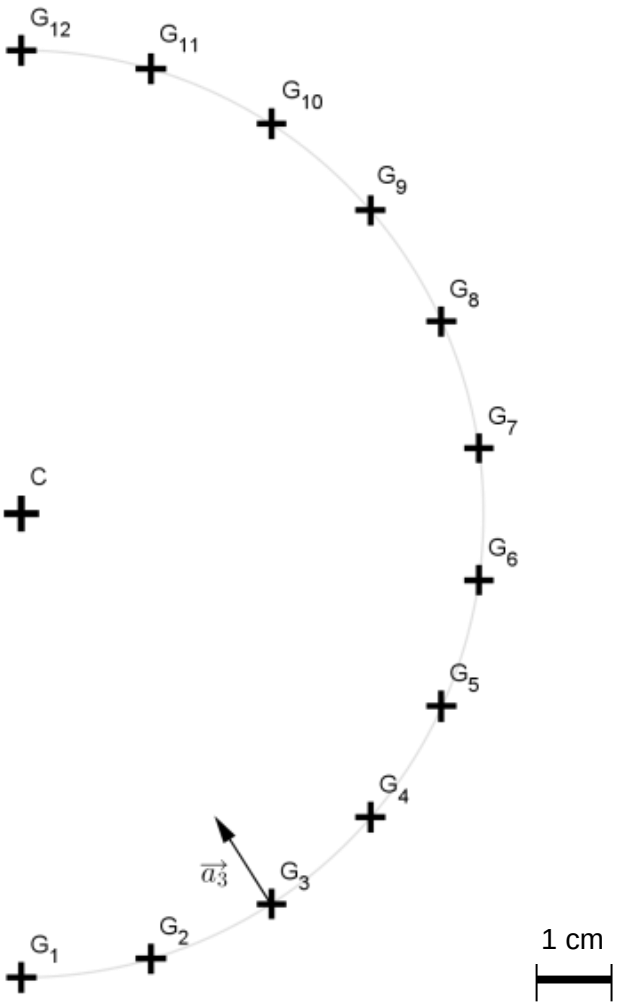
1. Le référentiel d'étude du mouvement

Trois personnes observent le système lorsque le bras tournant est en mouvement.
Un référentiel est lié à chacun des observateurs suivants :
- R_1 : référentiel lié à une touriste sur la berge, immobile par rapport au sol.
- R_2 : référentiel lié à un voyageur assis dans le bateau.
- R_3 : référentiel lié à un technicien installé dans le godet opposé à celui contenant le bateau et immobile par rapport à son godet.

Pour réaliser une étude du mouvement du système et appliquer les lois de Newton, quel référentiel faut-il choisir parmi ceux proposés ? Justifier votre réponse.

2. Le système d'enregistrement du mouvement

Le système d'enregistrement permet de prendre une succession de photographies à intervalles de temps égaux, puis de les superposer afin d'étudier un mouvement.
La superposition des photographies de la roue prises par un photographe amateur depuis la rive et un dispositif de pointage ont permis de repérer l'évolution de la position du point G lors de l'ascension d'un bateau.



Echelles :

Distance : 1 cm sur le schéma représente 2,0 m dans la réalité

Accélération : 1 cm sur le schéma représente $8{,}0.10^{-4}$ m.s^{-2}

Δt : durée entre deux photographies successives : 30 s

Position du centre de gravité G lors de l'ascension

Le référentiel d'étude est un référentiel terrestre lié au sol.

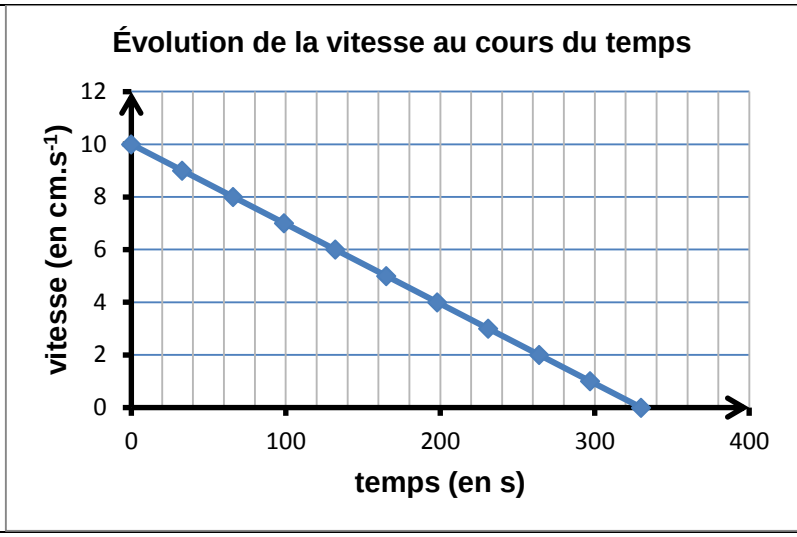
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

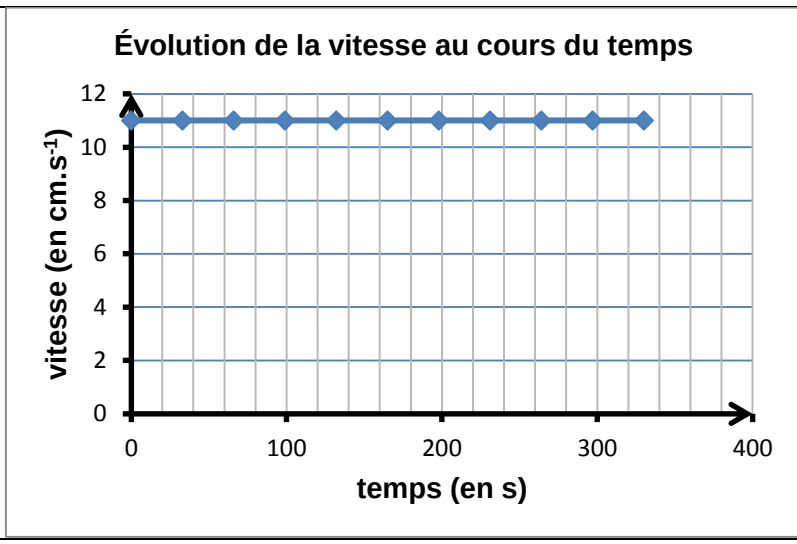
2.1. Les trois graphiques A, B et C ci-dessous représentent trois évolutions temporelles possibles de la valeur de la vitesse du point G.

Identifier celui qui correspond à l'ascension du bateau. Un argument quantitatif est attendu.

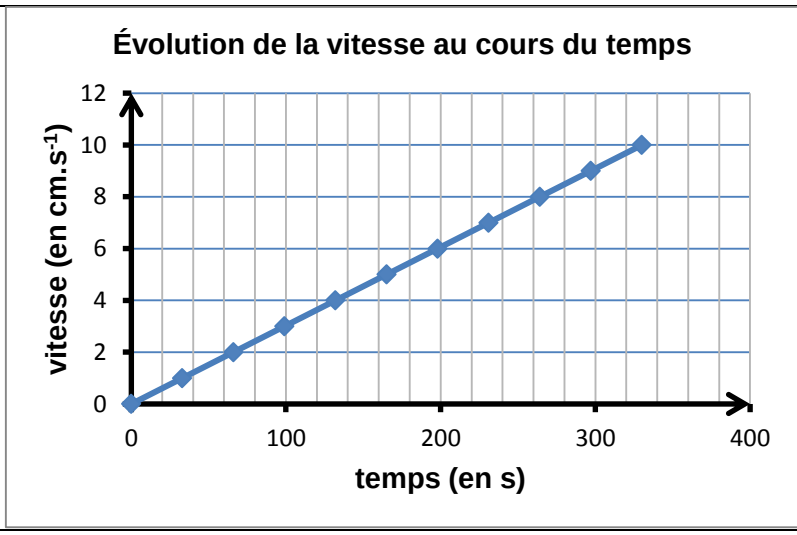
Représentation graphique A



Représentation graphique B



Représentation graphique C



2.2. Donner la nature du mouvement du point G en justifiant les termes employés.

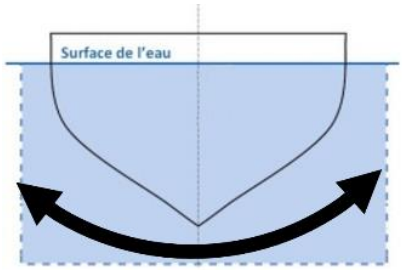
2.3. Citer au moins un adjectif pour qualifier l'accélération du système.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Le roulis

Définition :
Le roulis est un mouvement d'oscillations latérales du navire.
Sur le schéma ci-contre, la double flèche symbolise le roulis du bateau.
Afin d'éviter le roulis du bateau lors de l'ascension, la valeur de l'accélération du système, dans son mouvement de rotation autour du centre C de la roue, doit être faible.



On admet que si l'accélération du système, dans son mouvement de rotation autour de C, ne dépasse pas un centième de l'accélération de la pesanteur terrestre, alors le roulis est négligeable

Donnée : valeur de l'intensité du champ de pesanteur terrestre, $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$

Déterminer la valeur de l'accélération du godet avec l'eau et son bateau. Le roulis est-il négligeable ?

Partie B : Étude énergétique

La Roue de Falkirk est un dispositif particulièrement économe en énergie. Le but de cette deuxième partie est de vérifier l'affirmation suivante : « *pour l'ascension d'un bateau, la roue tourne en utilisant l'énergie de huit bouilloires en fonctionnement.* »

D'après *http://www.thefalkirkwheel.co.uk/about-the-wheel-/quick-quirky-facts*

1. Énergie nécessaire au fonctionnement de la Roue de Falkirk

1.1. Calculer la variation d'énergie mécanique d'un godet avec l'eau et son bateau lors de son ascension. L'ensemble est immobile tant au départ qu'à l'arrivée.

1.2.a. Quelle est la relation correcte entre l'énergie et la puissance parmi les 3 expressions proposées ci-dessous ? Justifier votre choix.

$E = P \times \Delta t$ $\qquad$ $E = \dfrac{P}{\Delta t}$ $\qquad$ $E = \dfrac{P^2}{\Delta t}$

1.2.b. Sachant que l'ensemble des moteurs hydrauliques transmet une puissance de 22,5 kilowatts à la Roue de Falkirk, calculer l'énergie fournie par les moteurs lors d'une ascension.

1.3. Expliquer pourquoi l'énergie fournie par les moteurs est très inférieure à celle reçue par le godet avec l'eau et le bateau lors de son ascension.

2. Estimation de l'énergie nécessaire au fonctionnement de huit bouilloires électriques

Données
Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4{,}2.10^3\ J.kg^{-1}.°C^{-1}$
Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}0\ kg.L^{-1}$
Contenance de chaque bouilloire : 3,0 L

Calculer la valeur de l'énergie nécessaire pour porter à ébullition l'eau de ces huit bouilloires.

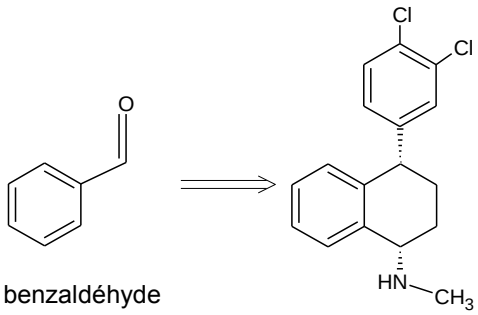
Le candidat est invité à estimer certaines grandeurs, à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.
La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

3. Comparaison des énergies

Déduire des questions précédentes si l'affirmation « *La roue tourne en utilisant l'énergie de huit bouilloires en fonctionnement.* » est plausible ou totalement farfelue.

EXERCICE II – SYNTHESE D'UN MEDICAMENT (9 points)

Le benzaldéhyde est un liquide incolore, couramment utilisé comme additif alimentaire pour son odeur d'amande amère. Il s'avère également être d'une grande utilité en chimie organique de synthèse ; cet exercice cherche à étudier quelques aspects de la synthèse d'une molécule d'intérêt biologique, la sertraline (antidépresseur), à partir du benzaldéhyde.
Une voie de synthèse propose de synthétiser, en 9 étapes, la sertraline à partir du benzaldéhyde.



benzaldéhyde — Sertraline

La première partie s'intéresse à la pureté du benzaldéhyde utilisé comme réactif.
Dans une deuxième partie, quelques-unes des 9 étapes de la voie de synthèse sont analysées.
Enfin, dans une troisième partie une alternative à deux étapes sensibles est étudiée.

Données :

- Benzaldéhyde :
  - Masse molaire moléculaire : M = 106 g.mol^{-1}
  - Masse volumique : ρ = 1,05 g.mL^{-1}

- Couples acide-base :
  - L'acide benzoïque appartient au couple : ($C_7H_6O_2$/ $C_7H_5O_2^-$)

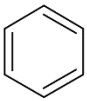
- Pureté d'un réactif :

$$p = \frac{\text{quantité réelle présente dans l'échantillon}}{\text{quantité théorique présente dans l'échantillon pur}}$$

- Table simplifiée en spectroscopie IR :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H alcool	3200 - 3400	Forte, large
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	Forte à moyenne, large
C_{tri}-H	3000 - 3100	Moyenne
C_{al}-H	2750-2900	Moyenne, parfois 2 bandes
C=O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	Forte
C=O acide	1680 - 1710	Forte
C=C aromatique	1450-1600	Variable, 3 à 4 bandes

Remarques :
- C_{tri} signifie un atome de carbone relié à 3 voisins (C trigonal).
- C_{al} signifie un atome de carbone de la fonction aldéhyde.
- C=C aromatique symbolise les liaisons carbone-carbone d'un cycle aromatique comme ci-contre :



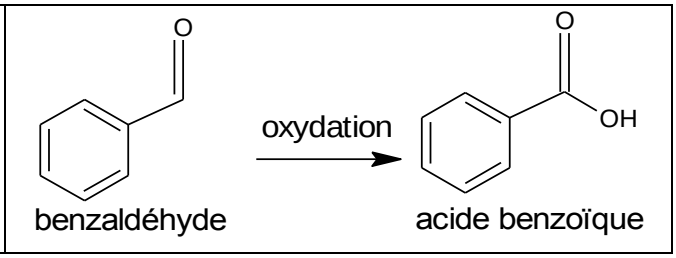
- Zone de virage de quelques indicateurs colorés :

Nom	Zone de virage	Couleur de la forme acide	Couleur de la forme basique
Hélianthine	3,1 - 4,4	Rouge	Jaune
Bleu de thymol	8,0 – 9,6	Jaune	Bleu
Bleu de Nil	10,1 – 11,1	Bleu	Rouge

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 6 / 15
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

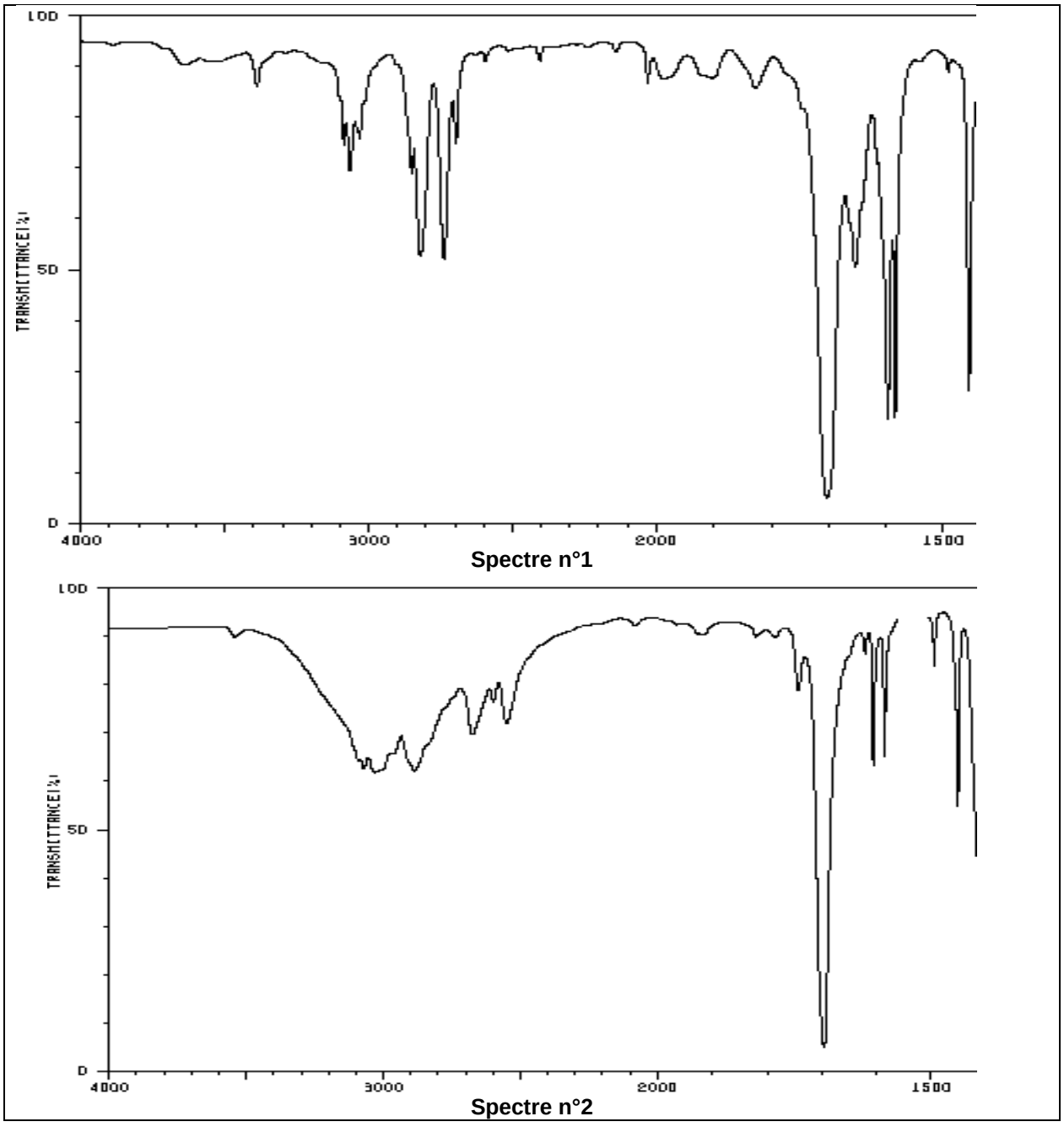
Partie 1 : pureté du benzaldéhyde

Le benzaldéhyde étant susceptible de s'oxyder en acide benzoïque lorsque le flacon est entamé, il convient de vérifier sa pureté avant de l'utiliser comme réactif.



1.1. Sur les molécules de benzaldéhyde et d'acide benzoïque reproduites **dans l'annexe à rendre avec la copie**, entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

1.2. En expliquant la démarche suivie, associer à chaque molécule (benzaldéhyde et acide benzoïque) un des spectres infrarouge reproduits ci-dessous.



Spectre n°1

Spectre n°2

En abscisse : nombre d'onde σ (en cm^{-1})

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer



Pour vérifier la pureté du benzaldéhyde qu'il va utiliser pour une synthèse, un élève réalise dans son lycée la chromatographie sur couche mince (CCM) de la solution contenue dans un flacon entamé de benzaldéhyde. Il obtient le chromatogramme ci-contre, où B correspond au point de dépôt de la solution contenue dans le flacon de benzaldéhyde et AB correspond au point de dépôt d'acide benzoïque.

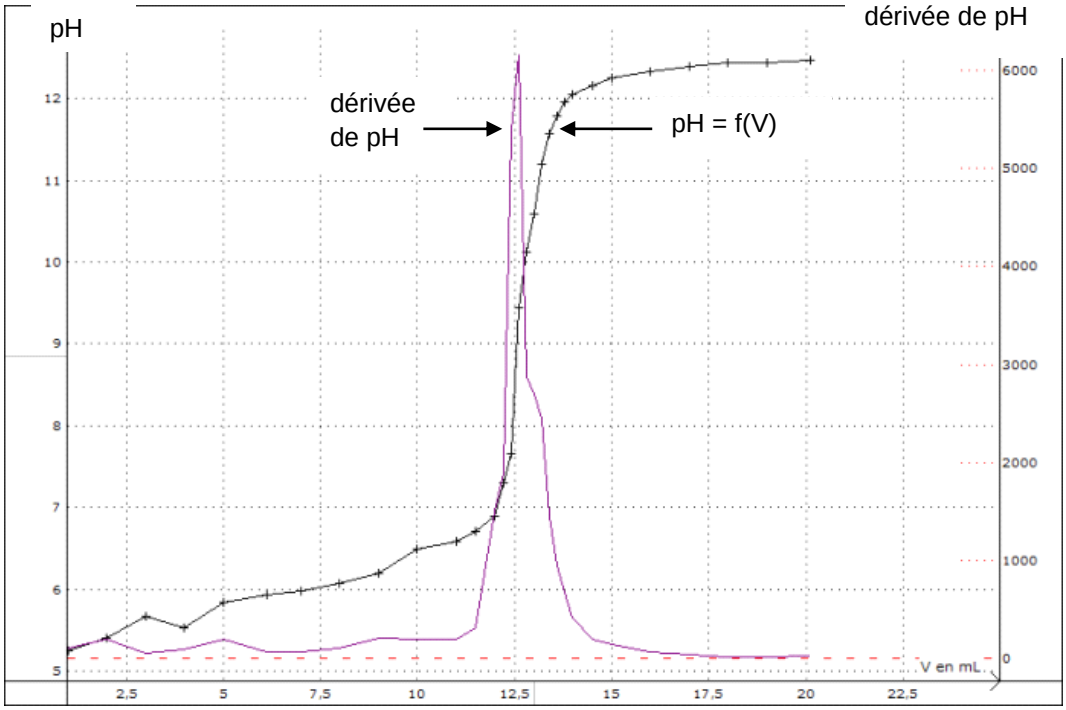
1.3. Expliquer ce que la CCM permet de conclure.

L'élève cherche à déterminer quantitativement la pureté du benzaldéhyde dans le flacon entamé. Pour cela, il réalise le titrage de 10,0 mL de solution prélevée dans le flacon de benzaldéhyde par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$), de concentration molaire 1,00 $mol.L^{-1}$.

1.4. Citer la définition d'un couple acide-base et d'une réaction acido-basique.

1.5. Écrire l'équation de la réaction support de titrage entre l'acide benzoïque et les ions hydroxyde.

Le titrage étant suivi par pHmétrie, l'élève a tracé la courbe pH = f(V) et la courbe « dérivée de pH » (notée $\frac{dpH}{dV}$) en fonction de V.



1.6. Déterminer la quantité de matière d'acide benzoïque présente dans le volume de solution prélevée en explicitant la méthode utilisée à l'aide des graphiques donnés **dans l'annexe à rendre avec la copie.**

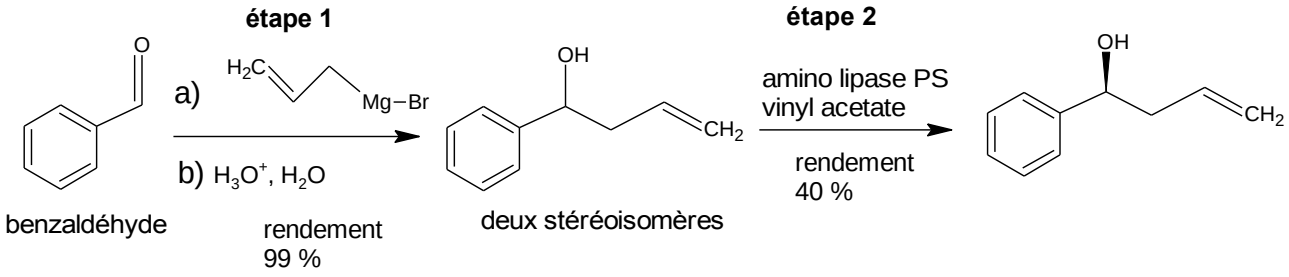
1.7. Déterminer la quantité de matière de benzaldéhyde présente dans 10,0 mL de benzaldéhyde pur.

1.8. En déduire la valeur de la pureté de la solution du flacon entamé de benzaldéhyde.

1.9. Expliquer quel indicateur coloré choisir si l'on souhaitait effectuer le même titrage à l'aide d'un suivi colorimétrique. Indiquer le changement de couleur qui permettrait alors de repérer l'équivalence.

Partie 2 : étude des deux premières étapes de la synthèse de la sertraline à partir du benzaldéhyde

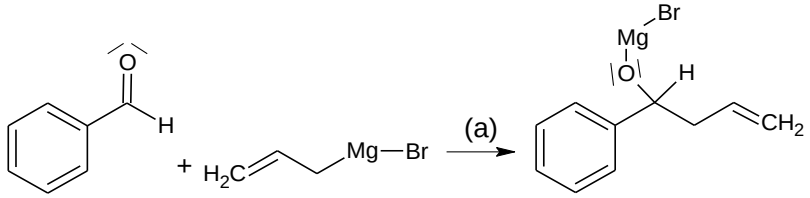
Les deux premières étapes de la synthèse de la sertraline sont présentées ci-dessous :



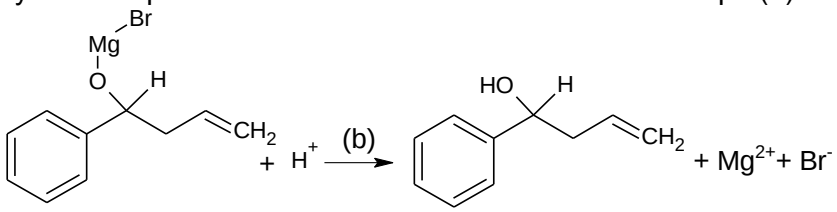
D'après *Org. Lett.* **2011**, *13*, 5740

L'étape 1 de la synthèse comporte en fait deux étapes (a) et (b) :

- L'étape (a) correspond à la réaction entre l'aldéhyde et le bromure d'allylmagnésium :



- Une hydrolyse acide permet ensuite d'obtenir l'alcool lors de l'étape (b) :



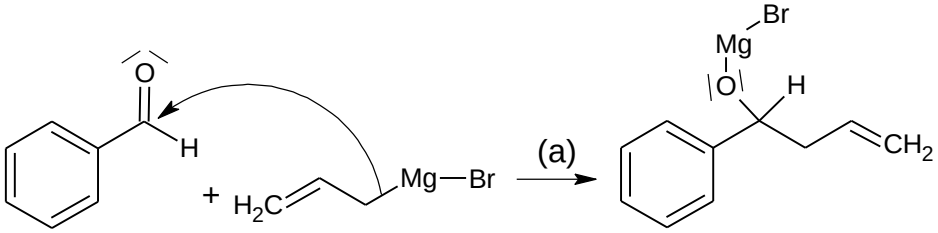
Données :

- Électronégativité de quelques éléments (échelle de Pauling) :

Élément	C	H	O	Mg	Br
Électronégativité	2,55	2,20	3,44	1,31	2,96

2.1. Déterminer, pour les réactifs de l'étape (a), si le carbone lié au Mg dans le bromure d'allylmagnésium est un site donneur ou attracteur d'électrons. Répondre à la même question pour le carbone du groupement carbonyle du benzaldéhyde.

2.2. Compléter, **dans l'annexe à rendre avec la copie**, le mécanisme réactionnel de l'étape (a) ci-dessous, en indiquant la ou les flèche(s) courbe(s) manquante(s).



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 15
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

2.3. À l'issue de l'étape (b), on obtient deux stéréoisomères : les représenter sur la copie en utilisant la représentation de Cram, puis, préciser en le justifiant le type de relation de stéréoisomérie qui les lie.

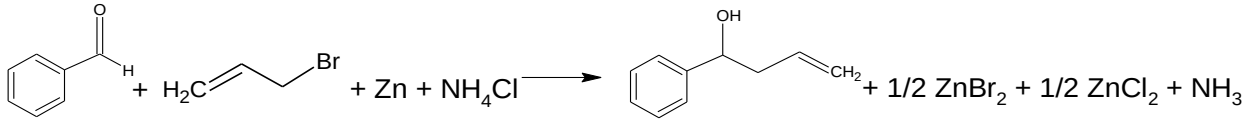
2.4. L'obtention de deux stéréoisomères, dont les effets biologiques peuvent être différents, est problématique pour la synthèse d'un médicament. En déduire l'intérêt de l'étape 2.

Partie 3 : Variantes proposées pour deux étapes de la synthèse

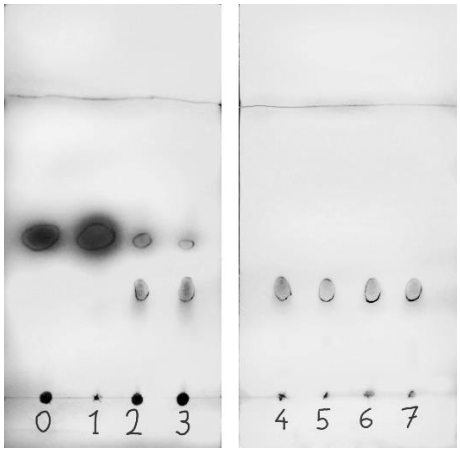
Pour réaliser la première étape, une variante présentée ci-dessous peut être envisagée.

Variante de l'étape 1

Cette variante fait intervenir la réaction de Barbier qui utilise du zinc :



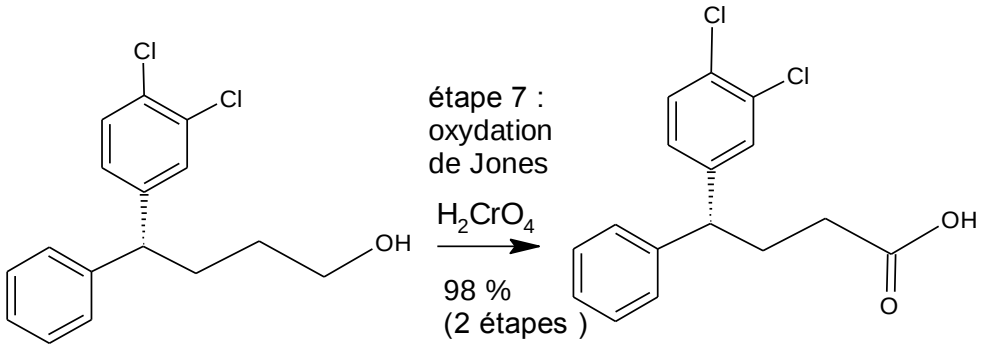
L'avantage de la réaction de Barbier résulte du fait qu'il s'agit d'une réaction « one pot », c'est-à-dire que tous les réactifs sont mélangés au départ dans le milieu réactionnel (à t = 0 min). On peut suivre la cinétique de la réaction par CCM, en prélevant toutes les minutes 1 mL environ du milieu réactionnel et en réalisant une extraction de la phase organique avec un peu d'éther.
Les CCM ci-contre ont été obtenues en réalisant des dépôts de la phase organique à différentes dates de prélèvement (de t = 0 à 7 minutes) et une révélation sous UV.



3.1. Évaluer la durée de la réaction en expliquant le raisonnement.

Variante de l'étape 7

L'étape 7 de la synthèse de la sertraline, présentée ci-dessous, correspond à une oxydation de Jones, pour laquelle l'oxydant est de l'acide chromique :

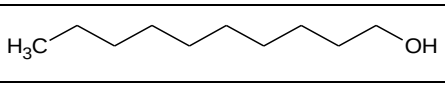
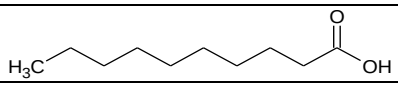


D'après *Org. Lett.* **2011**, *13*, 5740

Une variante dite « verte » peut être envisagée, en utilisant une solution à 30 % de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (couplée à un catalyseur).

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 10 / 15
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Cette variante verte a été effectuée avec le réactif ci-dessous:

	Réactif	Produit
		
Formule brute	$C_{10}H_{22}O$	$C_{10}H_{20}O_2$
Masse molaire moléculaire	158 g.mol^{-1}	172 g.mol^{-1}
Masse des réactifs utilisés et du produit obtenu	100 g	96 g

D'après R. Noyori, Green oxidation with aqueous hydrogen peroxide, *Chem. Comm*, **2003**, 1977-1986

Données

- Une oxydation correspond à une perte d'électron(s).
- Informations sur l'oxydant employé lors de l'étape 7 ou de sa variante :

- L'acide chromique H_2CrO_4 contient du chrome à l'état d'oxydation (VI). Le peroxyde d'hydrogène en solution aqueuse est corrosif, mais les dangers varient selon la concentration de la solution employée :

Espèce chimique	Composés du chrome (VI)	Peroxyde d'hydrogène en solution aqueuse	
Classement	Cancérogène catégorie 1B Potentiel cancérigène probable pour l'être humain	Corrosif	Corrosif
Pictogramme			
Mention d'avertissement	Danger	Danger	Attention
Mention de danger	Peut provoquer le cancer ou peut provoquer le cancer par inhalation	Provoque de graves brûlures de la peau et des lésions oculaires	Provoque une irritation cutanée
Seuil	> 0,1 %	> 35 %	8 – 35 %

3.2. Écrire la réaction d'oxydo-réduction mise en jeu dans la variante, l'eau oxygénée étant transformée en eau. Montrer qu'il s'agit d'une oxydation pour l'espèce organique

3.3. Déterminer le rendement de l'oxydation dans la variante verte, l'eau oxygénée étant introduite en excès. Peut-on apporter une conclusion quant à l'intérêt de la variante verte en termes de rendement ?

3.4. Donner un argument qui explique pourquoi cette variante verte est plus compatible avec la notion de chimie durable que l'oxydation de Jones.

EXERCICE III - L'EFFET DOPPLER PEUT-IL PERTURBER UN DANSEUR ? (5 points)

Lors de la répétition générale d'un ballet, Alice, la pianiste, ponctue la fin du 1er acte en jouant une série de La3 successifs au cours desquels Kilian, le danseur, effectue un saut appelé « grand jeté ». Après le baisser du rideau, le directeur artistique trouve Kilian et Alice en pleine discussion.

Kilian a perçu des La3 successifs qui lui semblaient de hauteurs différentes et pense qu'Alice n'a pas joué la même note. Alice conteste et affirme qu'elle a bien joué la même note.

L'objectif de l'exercice est de comprendre l'origine de ce désaccord.



Brice Bardot effectuant un grand jeté.

Tableau du déroulement chronologique de la fin du premier acte

Pianiste	Mi3	Si3	Ré3	La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3
Danseur	Immobile					Course d'élan et grand jeté				

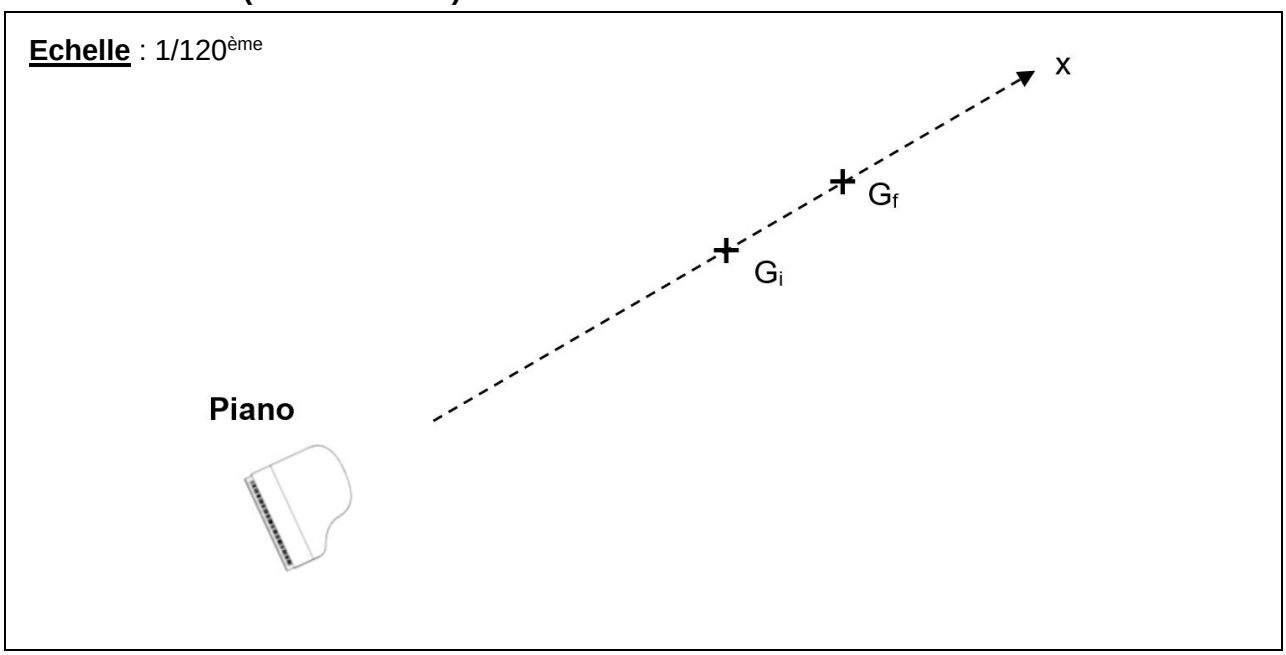
La3 = La de l'octave 3

Données

On adoptera les notations suivantes :

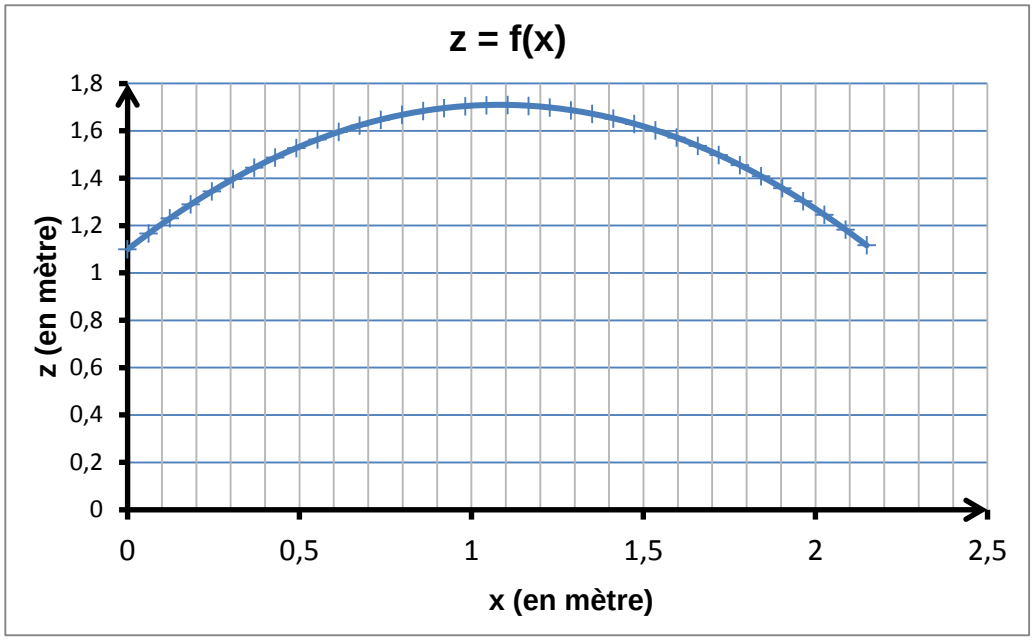
- G représente le centre de gravité de Kilian,
- G_i est la position de G au début du grand jeté ; G_f est la position de G à la fin du grand jeté,
- Δt est la durée du grand jeté (Δt = 0,710 s).

Plan de la scène (vue de dessus)



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 12 / 15
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Trajectoire du centre de gravité G de Kilian lors de son grand jeté



Fréquence (en hertz) de quelques notes de la gamme tempérée

Note	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si
Octave 1	65	73	82	87	98	110	123
Octave 2	131	147	165	175	196	220	247
Octave 3	262	294	330	349	392	440	494

L'effet Doppler

L'effet Doppler est la modification de la fréquence d'une onde lorsque l'émetteur de cette onde et le récepteur sont en mouvement relatif.

Si le récepteur s'approche de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f_R = f_E \times \left(\frac{v_{son}}{v_{son} - v_R}\right)$

Si le récepteur s'éloigne de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f_R = f_E \times \left(\frac{v_{son}}{v_{son} + v_R}\right)$

f_R est la fréquence de l'onde perçue par le récepteur ;
f_E est la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ;
v_R est la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur ;
v_{son} est la vitesse de propagation du son dans l'air. Elle est estimée à 340 $m.s^{-1}$.

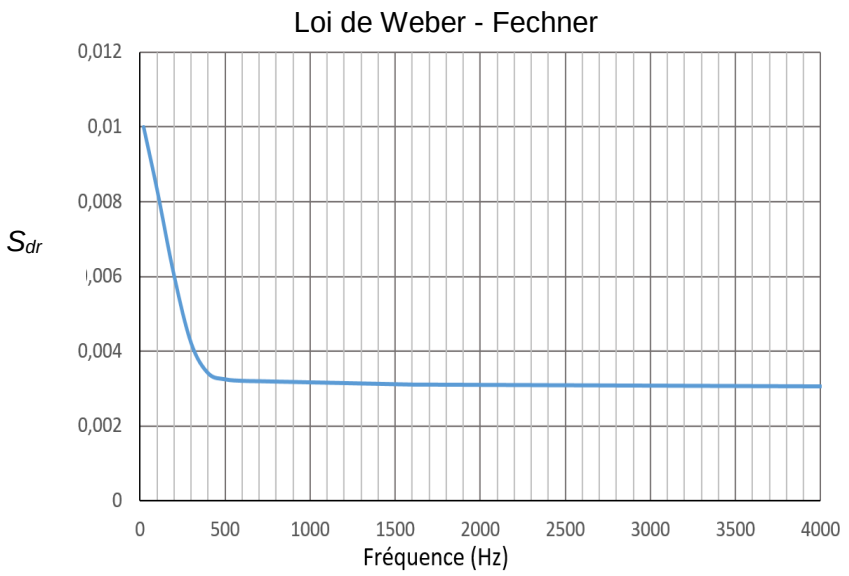
La loi de Weber-Fechner

L'oreille humaine n'est capable de percevoir la différence de hauteur entre deux sons successifs que si la variation relative des fréquences entre ces deux sons, notée $\frac{\Delta f}{f}$, est supérieure ou égale à une certaine valeur appelée *seuil différentiel relatif*, S_{dr}.
On peut tracer le *seuil différentiel relatif* S_{dr} en fonction de la fréquence f du son de référence : la courbe obtenue correspond à la loi de Weber-Fechner.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 13 / 15
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Le graphique ci-contre représente le seuil différentiel relatif pour une oreille humaine moyenne.

D'après le site Spiralconnect de l'Université de Lyon 1



Remarque : **Cas d'une oreille entraînée**
La représentation de la loi de Weber-Fechner est le plus souvent donnée pour une oreille moyenne. Pour une oreille entraînée, par exemple par plusieurs années d'études musicales, ce seuil est bien plus faible, il vaut environ 1/1000 quelle que soit la fréquence du son.
On obtient alors :

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{oreille entrainée}} = \frac{1}{1000}$$

1. Détermination de la vitesse de Kilian

1.1. À l'aide des documents proposés, déterminer la distance horizontale parcourue par Kilian lors de son grand jeté.

1.2. En déduire la vitesse horizontale moyenne de Kilian lors de son grand jeté.

On supposera dans la suite de l'exercice que la vitesse horizontale du danseur reste constante lors du grand jeté.

2. Fréquence du son perçu par Kilian

2.1. Quelle est la fréquence des notes émises par le piano pendant le grand jeté de Kilian ?

2.2. Quelle est la fréquence des notes perçues par Kilian pendant son grand jeté ? Expliquer en détail votre raisonnement et votre calcul (on ne prendra en compte que la composante horizontale du mouvement de G).

2.3. Sachant que Kilian a une oreille entraînée par des années d'études musicales, expliquer s'il peut percevoir cette différence de hauteur.

2.4. Un autre danseur n'ayant pas l'oreille entraînée, aurait-il été capable de percevoir cette différence de fréquence ?

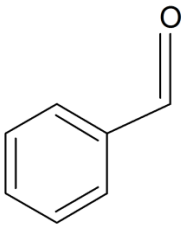
3. Discussion entre Alice et Kilian

Expliquer l'origine du désaccord entre Alice et Kilian.

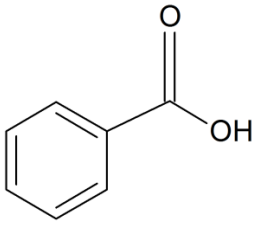
ANNEXE Exercice II

A rendre avec la copie

Question 1.1 :

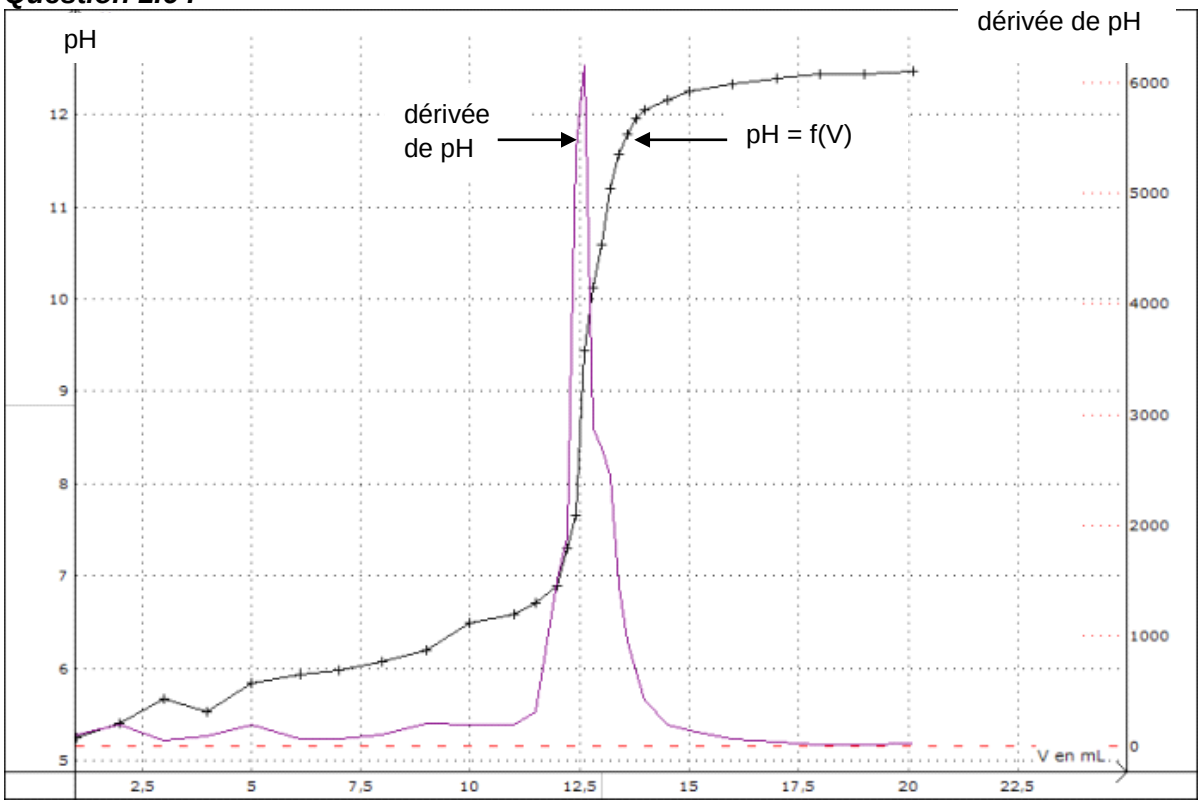


Benzaldéhyde



Acide benzoïque

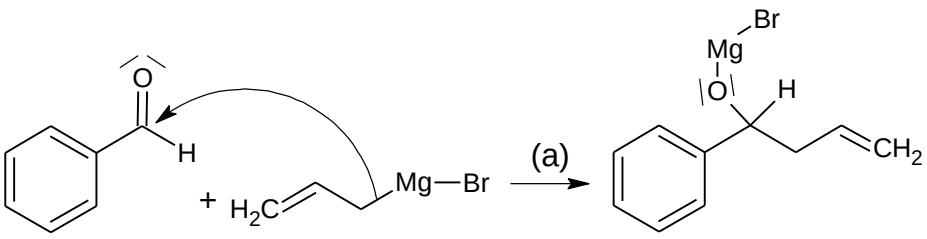
Question 1.6 :



Remarque : La courbe « dérivée de pH » correspond à la courbe représentant $\frac{dpH}{dV}$ *en fonction de V*

Question 2.2 :

L'étape (a) correspond à la réaction entre l'aldéhyde et le bromure d'allylmagnésium :



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer