

SPC - DST n°2

Terminale Spécialité physique

T5 : Mme Jobbe-Duval

T6 : Mme Brandt

T7 : Mr Michelon

T8 : Mme Bougrit

T9 : Mme Henry-Rechstein

T10 : Mme Duval

Lundi 16 décembre 2024

Calculatrice autorisée en mode examen - Durée 3 h 30

Ce sujet comporte 10 pages dont une annexe à rendre avec la copie

Barème indicatif : Ex1 (11 pts) ; Ex2 (5 pts) ; Ex3 (4 pts)

EXERCICE 1 : POINTS DE REGLEMENT AU TENNIS DE TABLE

Le tennis de table est un sport de raquette opposant deux ou quatre joueurs autour d'une table. C'est un sport olympique depuis 1988.

La balle utilisée est une sphère en celluloïd ou en matière plastique (exemple : polypropylène), aux propriétés voisines, de couleur orange ou blanche. En compétition, elle pèse 2,7 g et a un diamètre de 40 mm. Lors des compétitions officielles, les joueurs jouent avec des balles de catégorie « trois étoiles ». Ces balles sont de meilleure qualité, c'est-à-dire plus rondes et plus dures.



Balle 3 étoiles
utilisée en
compétition

D'après fr.wikipedia.org/wiki/Tennis_de_table

Dans cet exercice, on s'intéressera à l'application de deux articles du règlement de la Fédération Française de Tennis de Table (F.F.T.T.) puis à la détermination de la vitesse de la balle lors d'un coup droit smashé.

Données :

- $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$: valeur de référence de l'intensité du champ de pesanteur terrestre local ;
- article 2.6.2 du règlement sportif de la F.F.T.T : Le serveur lance alors la balle verticalement vers le haut, seulement avec la main, et sans lui communiquer d'effet, de telle manière qu'elle s'élève d'au moins 16 cm après avoir quitté la paume de la main libre et retombe ensuite sans toucher quoi que ce soit avant d'être frappée ;
- article 2.1.3 du règlement sportif de la F.F.T.T : La surface de jeu peut être faite de n'importe quelle matière et doit permettre un rebond uniforme d'environ 23 cm lorsqu'on laisse tomber une balle réglementaire sur cette surface d'une hauteur de 30 cm au-dessus d'elle.

Dans tout l'exercice la balle est modélisée par un objet ponctuel dont on étudie le mouvement assimilé à celui de son centre de masse, noté M. Dans les conditions de l'expérience, le champ de pesanteur terrestre local $\vec{g}$ est supposé uniforme et les frottements liés à l'action de l'air sont négligés.

Le mouvement du point M est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni d'un repère d'axes (Ox, Oy), respectivement horizontal muni du vecteur unitaire $\vec{i}$ et vertical muni du vecteur unitaire $\vec{j}$ (Figure 1).

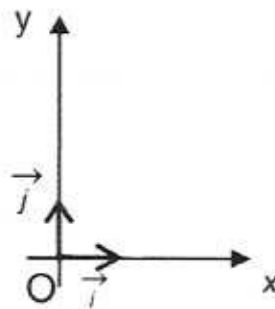


Figure 1 : repère d'étude du mouvement de la balle

1. Trajectoire d'une balle lors du lancer

La vidéo d'un joueur au service en compétition permet d'obtenir la chronophotographie suivante (**Figure 2**). On peut alors, à l'aide d'un logiciel d'analyse, tracer l'évolution de la valeur de la vitesse de la balle en fonction du temps (**Figure 3**).

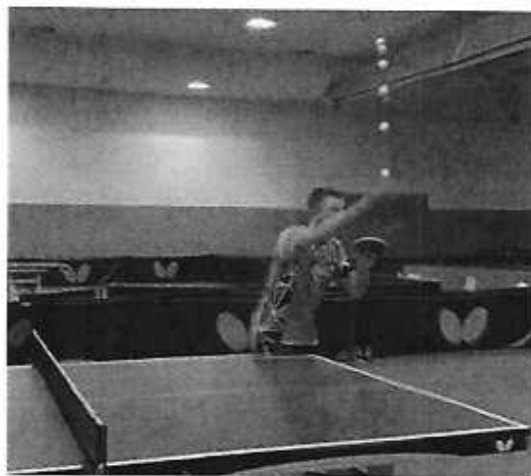


Figure 2 : chronophotographie du mouvement de la balle

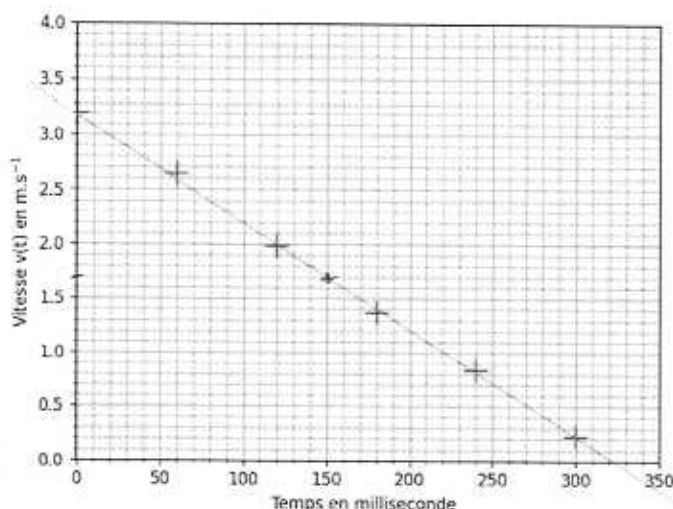
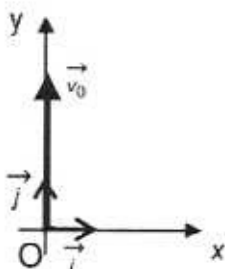


Figure 3 : évolution de la valeur de la vitesse de la balle en fonction du temps

À la date $t = 0$ ms, la balle quitte la main du joueur : son centre de masse noté M se trouve alors à l'origine du repère O et son vecteur vitesse initiale est noté $\vec{v}_0$.



Q.1. Exprimer les composantes a_x et a_y du vecteur accélération $\vec{a}$ du point M , à un instant quelconque du mouvement.

Q.2. Justifier à l'aide de la **figure 2** que la norme du vecteur vitesse de la balle $v(t)$ est assimilable à la valeur de sa composante verticale v_y .

On notera pour la suite de l'exercice $v_y(t) = v(t)$.

Q.3. En déduire qu'à un instant quelconque du mouvement l'expression littérale de la vitesse $v(t)$ du point M peut être modélisée sous la forme :

$$v(t) = -g \times t + v_0$$

Q.4. Justifier sans calcul que ce modèle de la vitesse $v(t)$ est en accord avec les points expérimentaux obtenus sur la **figure 3**.

Q.5. En déduire une valeur de l'intensité du champ de pesanteur terrestre local, g .

Q.6. Proposer une origine à l'écart observé avec la valeur de référence de l'intensité du champ de pesanteur terrestre local, $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$.

Q.7. Montrer que l'expression littérale de l'équation horaire de la position du point M au cours de son mouvement s'écrit :

$$y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t$$

On note h_{MAX} la hauteur maximale atteinte par le centre de masse M de la balle lors du lancer. On dispose en **figure 4** d'un programme écrit en langage python, python 1 qui, après saisie de h_{MAX} , donne accès à la valeur de v_0 .

```
1 import numpy as np
2
3 h_max=float(input('h_max = '))
4 g = 9.81
5
6 v_0 = np.sqrt(2*g*h_max) #np.sqrt applique la fonction racine carrée
7
8 print('La vitesse de lancer de la balle pour atteindre h_max est',v_0,'m/s')
```

Figure 4 : python 1

Q.8. Exploiter les expressions de $y(t)$ et $v(t)$, pour justifier la formule $v_0 = \text{np.sqrt}(2*g*h_{\text{max}})$ présente à la ligne 6 de la figure 4.

Lors de l'exécution du programme, la fenêtre suivante s'ouvre :

h_max =

Q.9. Recopier et compléter cette fenêtre d'exécution en déterminant la valeur de h_{max} lorsqu'on se place dans la condition décrite à l'article 2.6.2 du règlement de la F.F.T.T.

Q.10. Calculer alors la valeur minimale de v_0 que le programme va afficher.

On souhaite faire évoluer le programme précédent pour afficher la vitesse de lancer en km.h^{-1} .

On écrit le programme python 2 de la **figure 5**.

```
1 import numpy as np
2
3 h_max=float(input('h_max = '))
4 g = 9.81
5
6 v_0 = np.sqrt(2*g*h_max) #np.sqrt applique la fonction racine carrée
7
8 ...
9
10 print('La vitesse de lancer de la balle pour atteindre h_max est',v_ini,'km/h')
```

Figure 5 : python 2

Q.11. Compléter sur votre copie la ligne 8 du programme de la **figure 5** afin de calculer la vitesse de lancer en km.h^{-1} .

2. Qualité d'une balle de tennis de table

Pour vérifier la qualité d'une balle de tennis de table (article 2.1.3), un élève réalise une vidéo de la chute et du rebond d'une balle lâchée sans vitesse initiale depuis une hauteur $h = 30$ cm. Le pointage des positions de l'objet lors des différentes phases de son mouvement lui permet d'effectuer son étude énergétique (Figure 6).

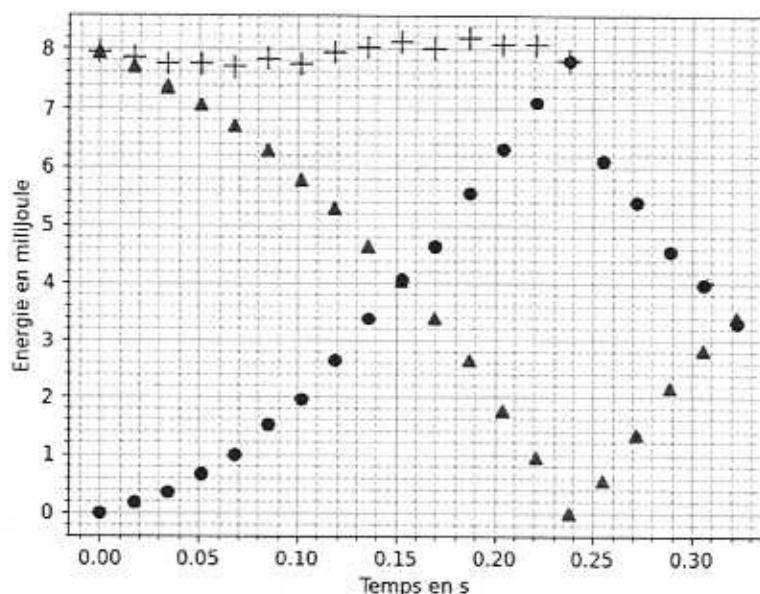


Figure 6 : évolutions des énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur de la balle lâchée depuis $h = 30$ cm

Q.12. Associer, pour la première phase du mouvement (temps compris entre 0,00 et 0,24 s), les symboles ●, ▲ et + aux énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur en justifiant les choix.

On réalise une étude énergétique dans la phase après le rebond (à partir de $t > 0,24$ s).

Q.13. Vérifier par le calcul, à l'aide de quelques données expérimentales prises sur la Figure 6, que l'énergie mécanique se conserve dans cette phase et a une valeur proche de 6,7 mJ.

Q.14. Déterminer la hauteur du rebond de la balle. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche, même non aboutie, sera valorisée.

3. Vitesse d'un coup droit smashé au tennis de table

Pour améliorer la rapidité de son coup droit, un joueur se munit à l'entraînement d'un cinémomètre, appareil qui mesure la vitesse d'un objet, par effet Doppler (Figure 7).



Figure 7 : cinémomètre Doppler

Pour que la mesure de la vitesse soit la meilleure possible, il est nécessaire de placer l'appareil de mesure sur la partie opposée de la table face au joueur (**Figure 8**).

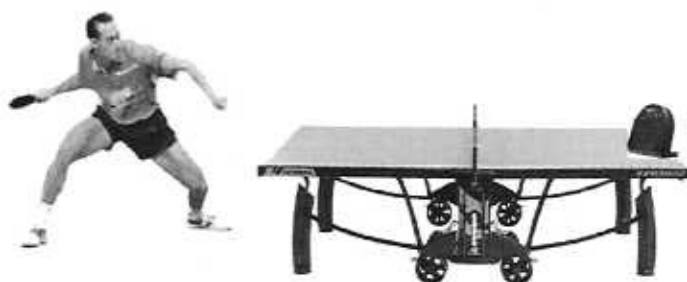


Figure 8 : mise en pratique du cinémomètre Doppler

Le cinémomètre utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il est constitué :

- d'un émetteur qui génère une onde de fréquence $f_0 = 24,125 \text{ GHz}$ en direction de la balle ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$) ;
- d'un récepteur qui reçoit l'onde après réflexion sur la balle à la fréquence f_R ;
- d'une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.

On note Δf le décalage Doppler mesuré par l'appareil lors de son utilisation.

Données :

- l'expression de la valeur absolue du décalage Doppler en fonction de la vitesse v de la balle, la célérité c_{onde} de l'onde électromagnétique et la fréquence f_0 générée par l'émetteur :

$$|\Delta f| = 2 \times f_0 \times \frac{v}{c_{\text{onde}}}$$

- la célérité de l'onde électromagnétique dans le vide est supposée connue.

Q.15. Expliquer pourquoi la situation illustre l'effet Doppler.

Q.16. Déterminer le signe du décalage Doppler dans la situation où la balle smashée s'approche du cinémomètre.

Suite au smash réalisé par un joueur amateur, l'appareil mesure un décalage Doppler dont la valeur absolue est $|\Delta f| = 4470 \text{ Hz}$.

Q.17. Calculer la vitesse de ce smash.

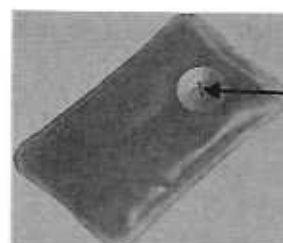
Le record du monde du smash le plus rapide a été établi en 2003 par Mark Brandt avec une vitesse atteinte de $112,5 \text{ km.h}^{-1}$.

Q.18. Indiquer, en justifiant, si la vitesse du smash du joueur amateur est du même ordre de grandeur que le record du monde.

EXERCICE 2 : ÉTUDE D'UNE CHAUFFERETTE

Les chaufferettes sont de petites pochettes très pratiques à glisser dans les poches d'un manteau ou dans les gants pour se réchauffer en hiver car elles permettent de dégager de l'énergie thermique pendant une durée limitée.

Le dispositif étudié dans cet exercice est constitué d'une pochette en plastique contenant une pastille métallique et une solution aqueuse très concentrée d'éthanoate de sodium. Dans ces conditions, il suffit de tordre la pastille pour que l'éthanoate de sodium précipite. Cette transformation est exothermique.



Pastille métallique

Photographie d'une chaufferette commerciale

Après utilisation, on peut « régénérer » la chaufferette en la chauffant, au bain-marie par exemple, et en la laissant doucement refroidir sans perturbation pour éviter la précipitation.

Cet exercice a pour objectif de déterminer, à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie, le titre massique en éthanoate de sodium du contenu d'une chaufferette commerciale.

Données :

- masse molaire de l'éthanoate de sodium (Na^+ ; CH_3CO_2^-) : $M = 82,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- concentration maximale de l'éthanoate de sodium dans l'eau (ou solubilité) : $s = 365 \text{ g.L}^{-1}$;
- valeurs de la conductivité molaire ionique λ à 25°C de quelques ions :

Ions	H_3O^+	Cl^-	Na^+	CH_3CO_2^-
λ en $\text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$	35,0	7,6	5,0	4,1

À partir de la solution d'éthanoate de sodium (Na^+ ; CH_3CO_2^-) présente dans la chaufferette, on prépare 50,0 mL de solution diluée 25 fois. On note S la solution obtenue.

Q1. Décrire le protocole expérimental permettant de préparer la solution S. Indiquer, en justifiant, les volumes de la verrerie utilisée.

On réalise un titrage avec suivi conductimétrique de la solution S. Pour cela un volume $V_S = 10,0 \text{ mL}$ de solution S est prélevé puis versé dans un bécher auquel sont ajoutés environ 250 mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par une solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique de concentration $C = 2,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

La réaction support du titrage a pour équation : $\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} \rightarrow \text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$

La conductivité σ de la solution contenue dans le bécher est mesurée après chaque ajout de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique. Les résultats expérimentaux obtenus sont reproduits en figure 1 ci-dessous.

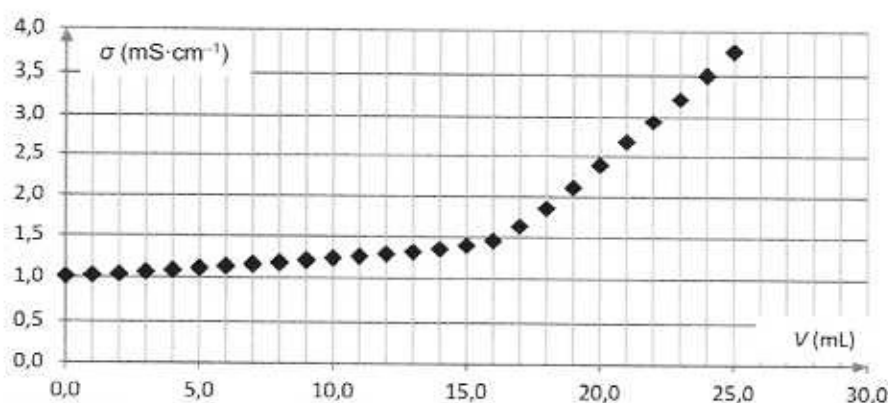


Figure 1. Représentation graphique de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V versé de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique.

Q2. Reproduire sur la copie le tableau ci-dessous. Décrire, dans chacune des cases, l'évolution des concentrations des ions dans le bécher lorsque l'on ajoute de l'acide chlorhydrique en utilisant les termes suivants :

- « reste constante » ;
- « reste négligeable » ;
- « augmente » ;
- « diminue ».

On néglige l'effet de dilution dû à l'ajout de la solution d'acide chlorhydrique dans le bécher.

Concentrations	Avant l'équivalence	Après l'équivalence
$[\text{Na}^+]$		
$[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$		
$[\text{H}_3\text{O}^+]$		
$[\text{Cl}^-]$		

Q3. En utilisant les conductivités molaires ioniques des espèces présentes, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 1.

Q4. Déterminer, en utilisant l'annexe, la valeur du volume de solution aqueuse titrante versé à l'équivalence du titrage.

Q5. Justifier que la solution contenue dans la chaufferette est sursaturée, c'est-à-dire que sa concentration en masse de soluté est supérieure à sa solubilité s.

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

EXERCICE 3 : CONSERVER LA VITAMINE C

L'acide ascorbique, communément appelé vitamine C, est un antioxydant présent dans de nombreux fruits et légumes.

La vitamine C est parfois utilisée dans des cosmétiques pour ses propriétés antioxydantes. Elle est aussi prescrite en complément alimentaire car elle joue un rôle important dans le métabolisme de l'être humain. Elle se dégrade à l'air, à la lumière et en présence d'oxydants.

L'objectif de l'exercice est d'étudier la dégradation de la vitamine C laissée à l'air libre dans un jus de fruit.

Données

- Masse molaire de l'acide ascorbique : $M = 176,1 \text{ g.mol}^{-1}$.

« La vitamine C est la plus fragile de toutes les vitamines : elle se dégrade rapidement à la chaleur, à l'eau, à l'air et à la lumière. Par exemple, à température ambiante, la moitié de la teneur en vitamine C d'un jus de fruit peut être perdue en 24 heures.

En conséquence, les modes de stockage doivent être adaptés de manière à limiter les pertes : les industriels conservent les produits à basse température (inférieure à 5 °C) en y adjoignant des agents actifs. »

D'après l'AFSSA - Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

On dispose d'un jus d'orange filtré à la température $T_1 = 25\text{ }^\circ\text{C}$. À partir de données expérimentales, on a modélisé le suivi cinétique de la dégradation de la vitamine C, ou acide ascorbique, dans ce jus d'orange et à cette température (voir **figure** ci-dessous).

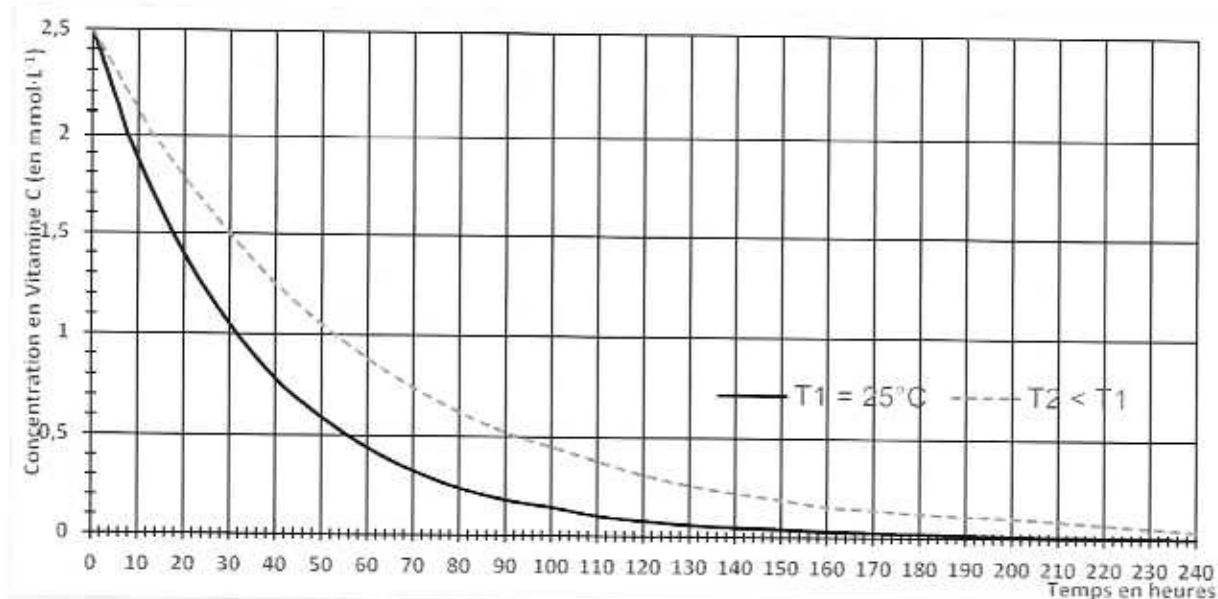
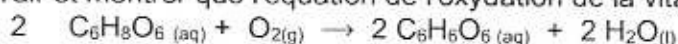


Figure : Modélisation de l'évolution de la concentration en vitamine C au cours du temps dans le jus d'orange pour deux températures différentes

Données

- L'acide ascorbique est aussi un réducteur et fait partie du couple : $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq}) / \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq})$.
- Le dioxygène est l'oxydant du couple $\text{O}_{2(\text{g})} / \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$.

Q1. Écrire les demi-équations correspondant aux couples mis en jeu lors de la dégradation de la vitamine C par le dioxygène de l'air et montrer que l'équation de l'oxydation de la vitamine C s'écrit :



Q2. Définir la vitesse volumique de disparition de la vitamine C.

Q3. À partir du graphique de la figure, décrire qualitativement l'évolution de la vitesse de disparition de la vitamine C en fonction du temps, à une température donnée, et faire le lien avec un facteur cinétique à préciser.

Q4. Déterminer graphiquement, à partir de l'annexe, la vitesse volumique de disparition de la vitamine C à la température $T_1 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ à la date $t_1 = 60\text{ h}$. L'exprimer en $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

Q5. Déterminer graphiquement le temps $t_{1/2}$ de demi-réaction à la température $T_1 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ et vérifier que cette valeur est cohérente avec celle annoncée dans le texte introductif.

Q6. À partir de la **figure**, en comparant les deux courbes, donner un deuxième facteur cinétique, et indiquer pourquoi il est préférable de ne pas laisser le jus d'orange sur la table du petit déjeuner.

ANNEXE – DST n°2 SPC

Exercice 2 : Etude d'une chauffelette

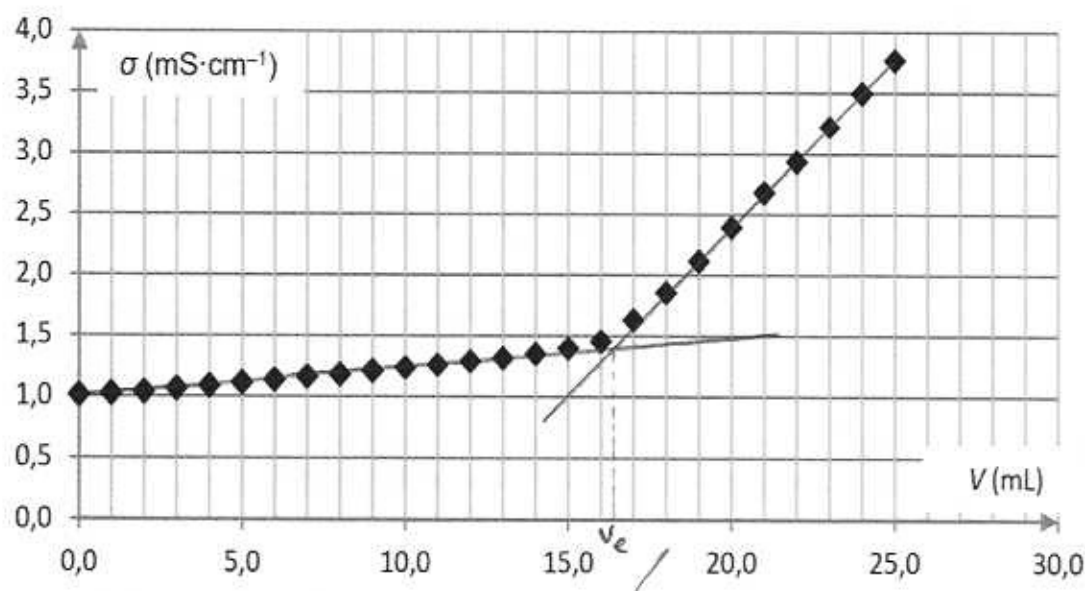


Figure 1. Représentation graphique de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V versé de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique.

Exercice 3 : Conserver la vitamine C

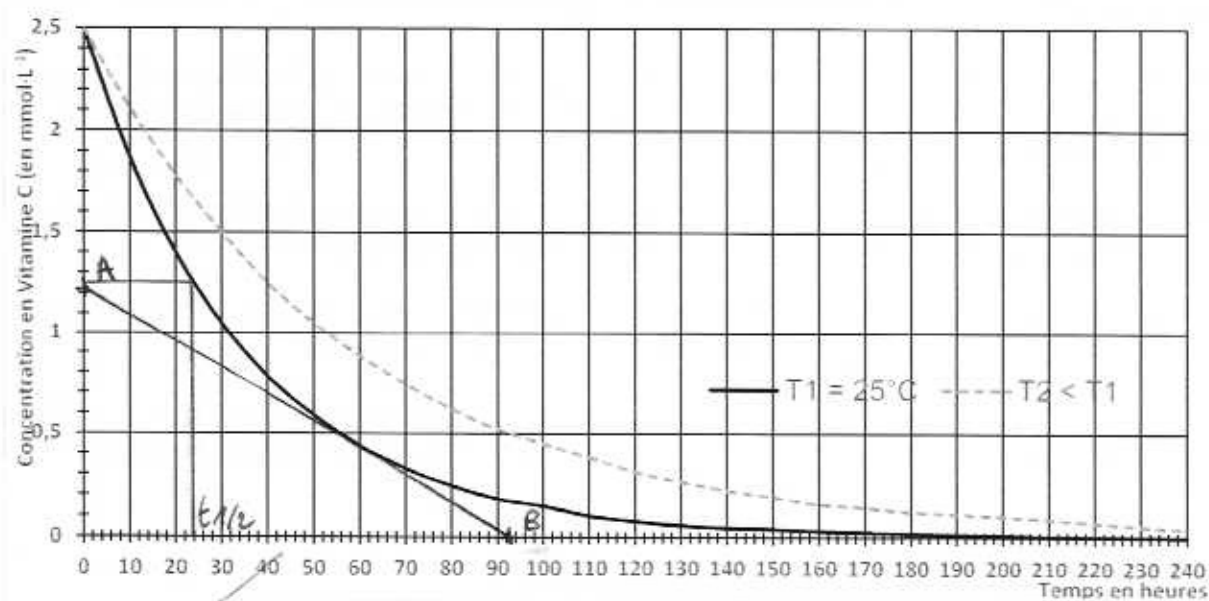


Figure : Modélisation de l'évolution de la concentration en vitamine C au cours du temps dans le jus d'orange pour deux températures différentes