



**MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE,  
DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

# Concours externe BAC + 3 du CAPES

Cafep-Capes

Section Physique Chimie

- 1) Exemple de sujet pour la première épreuve d'admissibilité
- 2) Extrait de l'arrêté du 17 avril 2025

Les épreuves des concours externes du Capes et du Cafep-Capes BAC +3 sont déterminées dans [l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré](#), publié au Journal Officiel du 19 avril 2025, qui fixe les modalités d'organisation du concours et décrit le schéma des épreuves.

**CAPES BAC + 3**  
**Sujet 0 / Première épreuve d'admissibilité**

**(à traiter uniquement par les candidats ayant  
choisi la discipline majeure Chimie à l'inscription)**

**Problème de chimie : l'acide lactique (14 points)**

L'acide lactique est un acide organique de formule brute  $C_3H_6O_3$  existant sous forme de deux stéréoisomères de configuration, nommés respectivement acide (-)-lactique et acide (+)-lactique représentés ci-dessous.



Figure 1 : Représentation des deux stéréoisomères de configuration de l'acide lactique

Il doit son nom au lait ; l'acide (-)-lactique a été isolé du lait aigre pour la première fois en 1780 par le chimiste suédois-allemand Carl Wilhelm Scheele. Il est largement présent dans les organismes vivants et des produits d'origine naturelle tel que le vin. Il joue un rôle crucial dans le métabolisme musculaire et est produit par fermentation lactique en conditions anaérobie.

L'acide (-)-lactique étant relativement abondant dans la nature, il appartient au « pool chiral » ou « réservoir chiral » et peut servir de brique de base lors de la synthèse de composés chiraux plus complexes ou comme auxiliaire lors du dédoublement d'un mélange racémique.

D'après [https://fr.wikipedia.org/wiki/Acide\\_lactique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acide_lactique), consulté le 15 avril 2025

Ce sujet est constitué de cinq parties indépendantes. Les données nécessaires sont réunies en fin d'énoncé.

**A. Structure de l'acide lactique**

1. Préciser le lien de stéréoisomérisation entre l'acide (-)-lactique et l'acide (+)-lactique représentés figure 1, en justifiant votre réponse.
2. Donner un adjectif qualifiant respectivement les signes (-) et (+) dans les appellations acide (-)-lactique et acide (+)-lactique et préciser leur signification. Proposer un appareil permettant de déterminer ce signe.

3. Nommer l'acide (-)-lactique et l'acide (+)-lactique selon la nomenclature systématique en tenant compte de la stéréochimie.

### **B. L'acide lactique dans le lait**

Le lait frais contient essentiellement de l'eau (87 % en masse) mais aussi des glucides, des protéines et des corps gras. Le lactose, de formule brute  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , est le glucide le plus abondant, sa dégradation par des bactéries conduit à la formation d'acide lactique. Plus un lait est frais, moins il contient d'acide lactique. Bien que ce dernier ne soit pas le seul acide présent, l'acidité d'un lait est caractérisée par son équivalent en acide lactique.

Afin d'élaborer un protocole opératoire permettant de déterminer l'acidité d'un lait, on étudie le titrage par suivi pH-métrique de 20 mL d'une solution aqueuse d'acide lactique de concentration  $0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq})$ ,  $\text{HO}^-(\text{aq})$ ) ou soude de concentration  $0,05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

4. Donner l'équation de la réaction modélisant la transformation support du titrage et rappeler les conditions que cette transformation doit remplir.
5. Faire un schéma annoté du montage permettant de réaliser ce titrage.

Une modélisation de ce titrage est réalisée à l'aide du logiciel dozzaqueux. La figure 2 ci-dessous présente le tracé réalisé à l'aide d'un script Python de la courbe de suivi du pH, de la proportion de l'acide lactique et de celle de sa base conjuguée, le lactate, en fonction du volume de solution titrante versée.

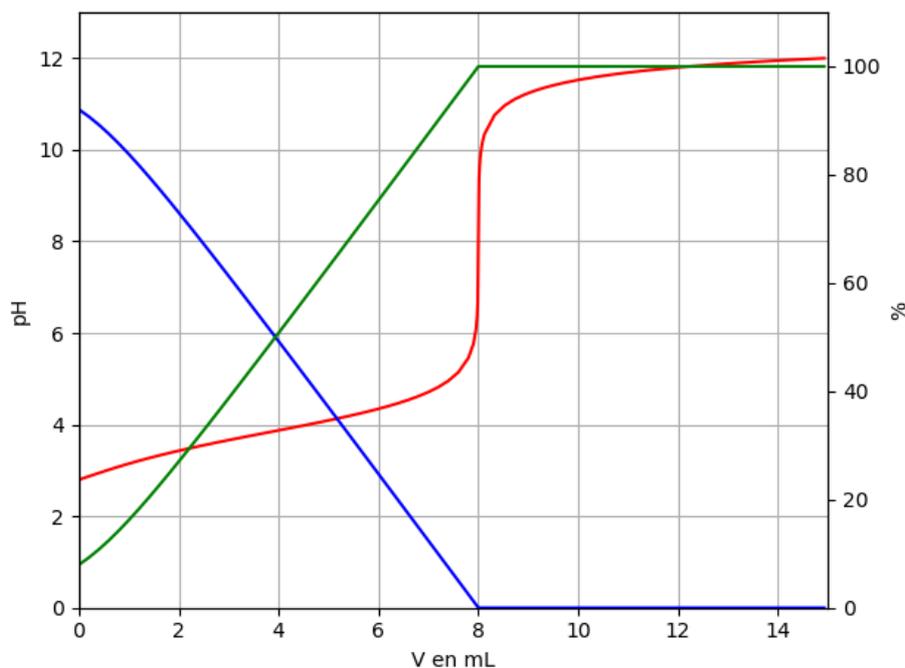


Figure 2 : Modélisation du suivi pH-métrique du titrage de 20 mL d'une solution aqueuse d'acide lactique de concentration  $0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  par de la soude de concentration  $0,05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

6. Attribuer les différentes courbes de la figure 2 en précisant la grandeur portée en ordonnée à laquelle elles sont affectées.
7. À l'aide de la figure 2, évaluer le  $\text{pK}_A$  du couple acide lactique / lactate.

L'acidité d'un lait s'exprime généralement en degré Dornic ( $^{\circ}\text{D}$ ) : un degré Dornic correspond à une concentration en masse d'acide lactique égale à  $0,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Pour être considéré comme frais, l'acidité du lait doit être inférieure à  $18^{\circ}\text{D}$ .

Le protocole suivant est mis en œuvre :

*20 mL du lait à étudier sont versés dans un erlenmeyer à l'aide d'une pipette jaugée de 20 mL sur laquelle il est indiqué une « tolérance » de  $\pm 0,03 \text{ mL}$ , 2 gouttes d'une solution d'un indicateur coloré adapté sont ajoutées. Cette solution est titrée par de la soude de concentration  $C_s = 0,05026 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  avec une incertitude-type  $u(C_s) = 0,00073 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Le volume versé à l'équivalence est égal à  $11,3 \text{ mL}$  déterminé avec une précision de  $0,1 \text{ mL}$ .*

8. Parmi les indicateurs colorés à disposition (voir les données en fin d'énoncé), indiquer, en justifiant votre réponse, celui qui vous semble le plus adapté pour ce titrage et justifier la faible quantité ajoutée à la

solution à titrer. Indiquer le changement de couleur observé à l'équivalence.

L'incertitude-type sur le degré Dornic du lait étudié, notée  $u(d)$  est estimée à l'aide d'une simulation de type Monte-Carlo codée en langage Python. L'exécution du script renvoie  $u(d) = 0,39321068413702187$  °D

9. Déterminer une valeur de l'acidité du lait, exprimée en degrés Dornic, assortie de son incertitude-type. Conclure quant à la fraîcheur du lait.
10. Donner l'allure de la courbe obtenue pour un suivi de ce titrage par conductimétrie. Justifier votre réponse.

### C. L'acide lactique dans le vin : fermentation malolactique

Le vin est constitué notamment de différents acides, qui exercent une influence sur sa couleur, son équilibre et son goût. Ils interviennent par ailleurs lors de l'étape de vinification. Leur mesure est donc primordiale.

Un vin rouge dont l'analyse fait apparaître les données du tableau 1 ci-après est étudié.

Acide tartrique	2,24 g·L <sup>-1</sup>
Acide malique	0,05 g·L <sup>-1</sup>
Acide citrique	0,08 g·L <sup>-1</sup>
Acide lactique	1,90 g·L <sup>-1</sup>
Acide succinique	1,04 g·L <sup>-1</sup>
Acide acétique	0,03 g·L <sup>-1</sup>
Acidité totale	5,20 g·L <sup>-1</sup>

Tableau 1 : Résultats d'analyse du vin rouge étudié

Alors que la concentration en acide malique de formule brute  $C_4H_6O_5$  est relativement importante dans le jus de raisin, entre 1 et 9 g·L<sup>-1</sup> lors de la récolte, elle est très faible dans le vin. Ceci s'explique par la fermentation malolactique : des bactéries convertissent l'acide malique en acide lactique avec dégagement de dioxyde de carbone. Cette fermentation se traduit par une diminution de l'acidité du vin et une amélioration de ses qualités gustatives. Si un vin est mis en bouteille alors que la fermentation malolactique n'est pas achevée, peu

après l'ouverture de la bouteille, quelques bulles peuvent apparaître dans le verre et un certain pétilllement est ressenti à la dégustation. Il est donc nécessaire de connaître le stade de cette fermentation avant de procéder à la mise en bouteille d'un vin.

On se propose d'étudier la variation du pH au cours de la fermentation malolactique ; pour ce faire, on modélise le vin par une solution aqueuse S contenant  $2,24 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  d'acide tartrique (diacide noté  $\text{H}_2\text{T}$ ) et  $3,10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  d'acide malique (diacide noté  $\text{H}_2\text{M}$ ), dont le pH est initialement égal à 3,0.

11. Représenter le diagramme de prédominance pour les espèces associées à l'acide tartrique et à l'acide malique.
12. Écrire l'équation de la réaction modélisant la fermentation malolactique. En déduire qualitativement le sens de variation du pH de la solution S au cours du temps. Commenter.
13. Proposer une cause chimique aux faits observés lors de l'ouverture d'une bouteille contenant un vin dont la fermentation malolactique n'était pas terminée lors de la mise en bouteille.
14. Indiquer si la fermentation malolactique du vin étudié est terminée lors de la mise en bouteille.

On se propose maintenant d'étudier la cinétique de la fermentation malolactique pour évaluer la durée nécessaire avant la mise en bouteille à partir de l'instant où débute cette fermentation. La fermentation malolactique est une réaction d'ordre 1 par rapport à l'acide malique, de constante de vitesse  $k = 1,34 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  à 298 K.

15. Établir la relation donnant l'évolution de la concentration en quantité de matière de l'acide malique  $[\text{H}_2\text{M}]$  en fonction du temps.
16. Définir et donner une valeur du temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  à 298 K.
17. Estimer la durée nécessaire à 298 K pour que la fermentation malolactique ait permis d'éliminer 99 % de l'acide malique initialement présent, avant sa mise en bouteille.

#### **D. Production d'ion lactate en condition anaérobie**

L'énergie nécessaire au fonctionnement des muscles est fournie par l'ATP, qui peut être produit par l'organisme par glycolyse qui, en première approximation, peut être assimilée à la combustion complète du glucose en  $\text{CO}_2(\text{g})$  et  $\text{H}_2\text{O}(\ell)$ . Lors d'un effort physique intense, l'apport de dioxygène est insuffisant et le glucose est converti en acide lactique.

18. Donner la configuration électronique des atomes d'hydrogène, carbone et oxygène dans leur état fondamental. En déduire leur position au sein du tableau périodique.
19. Donner le schéma de Lewis et la géométrie des entités  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{CO}_2$ . Indiquer la polarité de ces molécules.
20. Écrire l'équation de réaction de combustion complète du glucose  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$  et de l'acide lactique  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3(\text{s})$ .
21. Déterminer l'enthalpie standard de combustion du glucose.
22. Évaluer l'enthalpie standard de la glycolyse en condition anaérobie modélisée par la réaction d'équation :
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) = 2 \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3(\text{s})$$
Commenter.

La transformation réalisée au sein des cellules musculaires est en réalité plus complexe : il y a formation d'ion pyruvate, noté Pyr, à partir du glucose, qui conduit à la formation de lactate, noté Lac, base conjuguée de l'acide lactique, en conditions anaérobiques. Cette transformation est catalysée par une enzyme spécifique, notée E, appelée la lactase déshydrogénase. Le modèle de Michaelis-Menten est couramment utilisé pour rendre compte de cette transformation : dans une première étape, l'enzyme E s'associe de façon réversible au substrat Pyr pour former un complexe enzyme-substrat, noté PyrE. Dans une seconde étape, le complexe se dissocie de façon à former le produit Lac et à régénérer l'enzyme E. Le mécanisme correspondant est présenté figure 3.

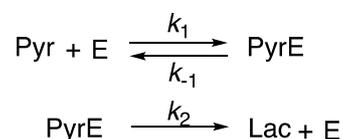


Figure 3 : Mécanisme correspondant au modèle de Michaelis-Menten. Les  $k_i$  sont les constantes de vitesses des actes élémentaires de vitesse  $v_i$

23. Tracer le profil énergétique de la réaction en présence et en absence d'enzyme.

24. Donner les conditions permettant d'appliquer l'approximation des états quasi-stationnaires (AEQS). On suppose ces conditions réunies pour le complexe PyrE.

25. Montrer que l'expression de la vitesse  $v$  de formation du lactate Lac dans le cadre de ce modèle peut s'écrire sous la forme :

$$v = \frac{v_{max} [\text{Pyr}]}{K_M + [\text{Pyr}]}$$

Préciser l'expression de  $v_{max}$  et de  $K_M$  en fonction de la concentration initiale en enzyme, notée  $[E]_0$  et des constantes de vitesse.

26. Tracer l'allure de la courbe  $v = f([\text{Pyr}])$ . Préciser s'il est possible de rendre la transformation aussi rapide qu'on le souhaite en jouant sur la concentration en ion pyruvate Pyr.

La vitesse initiale  $v_{ini}$  de la réaction a été déterminée pour différentes concentrations initiales en pyruvate, notée  $[\text{Pyr}]_0$ . Les résultats expérimentaux sont reportés dans le tableau 2.

$[\text{Pyr}]_0 / 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	0	1,0	1,25	2,5	5,0	10
$v_{ini} / 10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	0	2,5	2,8	3,55	4,15	4,55

Tableau 2 : Résultats expérimentaux

27. Afin de déterminer les paramètres du modèle,  $v_{max}$  et  $K_M$ , la représentation de Lineweaver et Burk, à savoir  $1/v_{ini}$  en fonction de  $1/[\text{Pyr}]_0$ , est mise à profit. À partir des résultats expérimentaux donnés dans le tableau 2, déterminer une valeur de  $v_{max}$  et  $K_M$ .

### E. Utilisation de l'acide lactique en chimie organique

L'acide (-)-lactique étant chiral et aisément disponible, il est un réactif de départ pour de nombreuses synthèses organiques. On s'intéresse ici à quelques étapes de la synthèse de la microcosamine, un alcaloïde d'origine naturelle

possédant des propriétés biologiques et pharmacologiques intéressantes dont la synthèse totale a été réalisée pour la première fois par le groupe de Reddy à partir de l'acide (-)-lactique (*Org. Biomol. Chem.*, **2016**, *14*, 251).

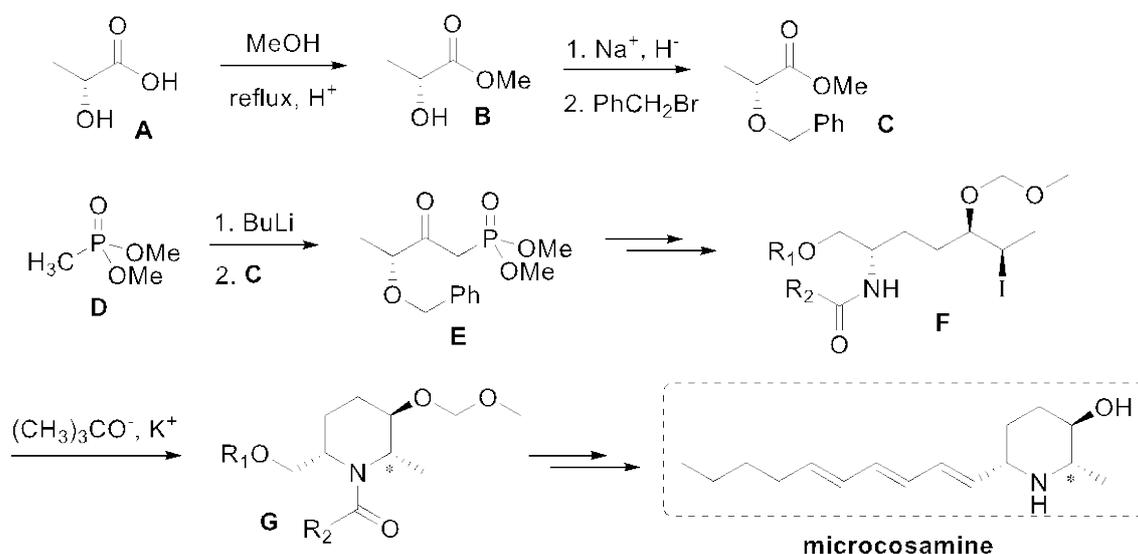


Figure 4 : Synthèse totale de la microsamine (d'après *Org. Biomol. Chem.*, **2016**, *14*, 251)

La première étape de la synthèse est la conversion de l'acide (-)-lactique (**A**) en lactate de méthyle (**B**) en présence de méthanol et d'un acide noté  $H^+$ .

**28.** Nommer cette transformation et donner l'équation de réaction la modélisant.

**29.** Écrire le mécanisme réactionnel correspondant en précisant le rôle de l'acide  $H^+$ .

Afin de favoriser la formation du composé **B** à partir de **A**, le méthanol est introduit en large excès (il est d'ailleurs le solvant) et le milieu réactionnel est porté à reflux pendant plusieurs heures.

**30.** Justifier clairement l'introduction du méthanol en excès, ainsi que l'intérêt du chauffage à reflux. Il est précisé que la réaction est quasi athermique.

Le lactate de méthyle **B** est mis ensuite à réagir en présence d'hydruure de sodium ( $Na^+$ ,  $H^-$ ) puis de bromure de benzyle  $PhCH_2Br$  pour conduire au produit **C**.

L'hydrure de sodium est un solide ionique : les ions  $H^-$  sont agencés selon une structure cubique à faces centrées et les ions  $Na^+$  en occupent la totalité des sites octaédriques.

**31.** Représenter la maille conventionnelle de l'hydrure de sodium. Déterminer la population des anions et des cations et vérifier la neutralité de la maille.

**32.** Donner la coordinence anion-cations et cation-anions.

**33.** Déterminer la masse volumique de l'hydrure de sodium.

**34.** Nommer la transformation de **B** en **C** et proposer un mécanisme réactionnel.

L'étape suivante consiste à créer une liaison carbone-carbone.

**35.** Justifier la relative acidité des atomes d'hydrogène portés par l'atome de carbone directement lié à l'atome de phosphore de **D**.

**36.** Proposer un mécanisme réactionnel conduisant à l'obtention du composé **E** à partir de **C** et **D**.

Quatre étapes non détaillées ici (symbolisée par deux flèches dans la figure 4) permettent d'obtenir le composé iodé **F** à partir de **E**. Les groupes  $R_1$  et  $R_2$  sont des groupes protecteurs dont la structure n'est pas détaillée. L'étape-clé de la synthèse est la réaction de cyclisation du composé iodé **F** en présence de tertibutanolate de potassium  $(CH_3)_3CO^-$ ,  $K^+$  pour conduire au composé **G** qui possède le cycle de la microcosamine.

**37.** Proposer un mécanisme pour expliquer l'obtention de **G** à partir de **F** en tenant compte de la stéréochimie du composé **G** obtenu.

Quelques étapes supplémentaires permettent finalement d'obtenir la microcosamine. Une des dernières étapes est la déprotection de l'alcool de la microcosamine en retirant le groupe protecteur méthoxyméthyl  $(-CH_2-O-CH_3)$ .

**38.** Proposer des conditions opératoires permettant de réaliser cette étape de déprotection et écrire le mécanisme associé.

L'acide lactique peut également être mis à profit pour séparer deux espèces d'un mélange racémique à l'issue d'une synthèse. Dans ce cadre, on étudie la synthèse d'alcools **2a** et **2b** à partir de la cétone **1**, qui sont ensuite séparés à l'aide d'un dérivé de l'acide (-)-lactique **3** (cf. figure 5).

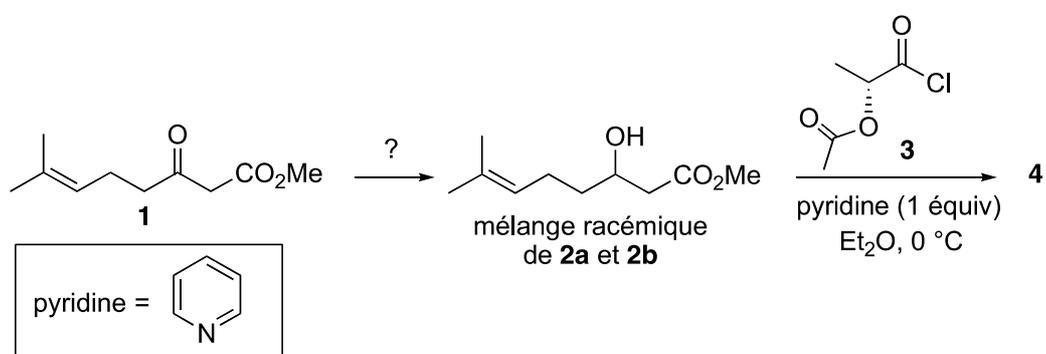


Figure 5

- 39.** Proposer des conditions opératoires permettant d'obtenir le mélange racémique de **2a** et **2b** à partir du composé **1**. Donner le type de transformation mise en jeu, justifier.
- 40.** Justifier que cette transformation conduise au mélange racémique.
- 41.** Le dérivé de l'acide (-)-lactique **3** présente deux sites électrophiles. Les identifier et comparer leur réactivité.
- 42.** Justifier que la réaction des deux composés **2a** et **2b** avec le dérivé de l'acide (-)-lactique **3** permet de séparer ces deux composés.

**Données :**

Masses molaires atomiques en g·mol<sup>-1</sup> : H : 1 ; C : 12 ; O : 16 ; Na : 23

Rayons ioniques : r(Na<sup>+</sup>) = 102 pm ; r(H<sup>+</sup>) = 160 pm

Constante d'Avogadro : N<sub>A</sub> = 6,02 × 10<sup>23</sup> mol<sup>-1</sup>

pK<sub>A</sub> à 298 K :

acide tartrique H<sub>2</sub>T : 3,04 ; 4,34

acide malique H<sub>2</sub>M : 3,46 ; 5,14

(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>COH/(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>CO<sup>-</sup> : 17

butane/butyllithium : 50

Enthalpies standard de formation à 298 K :

	$C_6H_{12}O_6(s)$	$CO_2(g)$	$H_2O(l)$
$\Delta_f H^\circ$ en $kJ \cdot mol^{-1}$	-1268	-393,5	-285,8

Enthalpies standard de combustion à 298 K :

$\Delta_{comb} H^\circ(C_3H_6O_3(s)) = -1344 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  (équation de réaction écrite avec un coefficient stœchiométrique égal à 1 pour le combustible)

Indicateurs colorés à disposition :

Indicateur coloré	Pictogramme	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine		rouge	3,1 – 4,4	jaune
Rouge de méthyle	-	rouge	4,4 – 6,2	jaune
Rouge de crésol	-	jaune	7,2 – 8,8	violet
Phénolphtaléine		incolore	8,2 – 10,0	rose

(à traiter uniquement par les candidats ayant  
choisi la discipline majeure Chimie à l'inscription)

## Exercices de physique (6 points)

### Exercice 1 : MegaRamp

Le 09 juillet 2005, Danny Way est devenu le premier homme à avoir sauté par-dessus la grande muraille de Chine sans aide motorisée.

Pour cela, il a construit un ensemble nommé MegaRamp sur lequel il s'est élancé en skateboard.



*La muraille de Chine et la MegaRamp – source internet*

L'ensemble MegaRamp est constitué d'une rampe de lancement, appelée rampe 1, et d'une rampe de réception, appelée rampe 2. L'objectif de cet exercice est d'étudier le mouvement du skateur lors du saut.

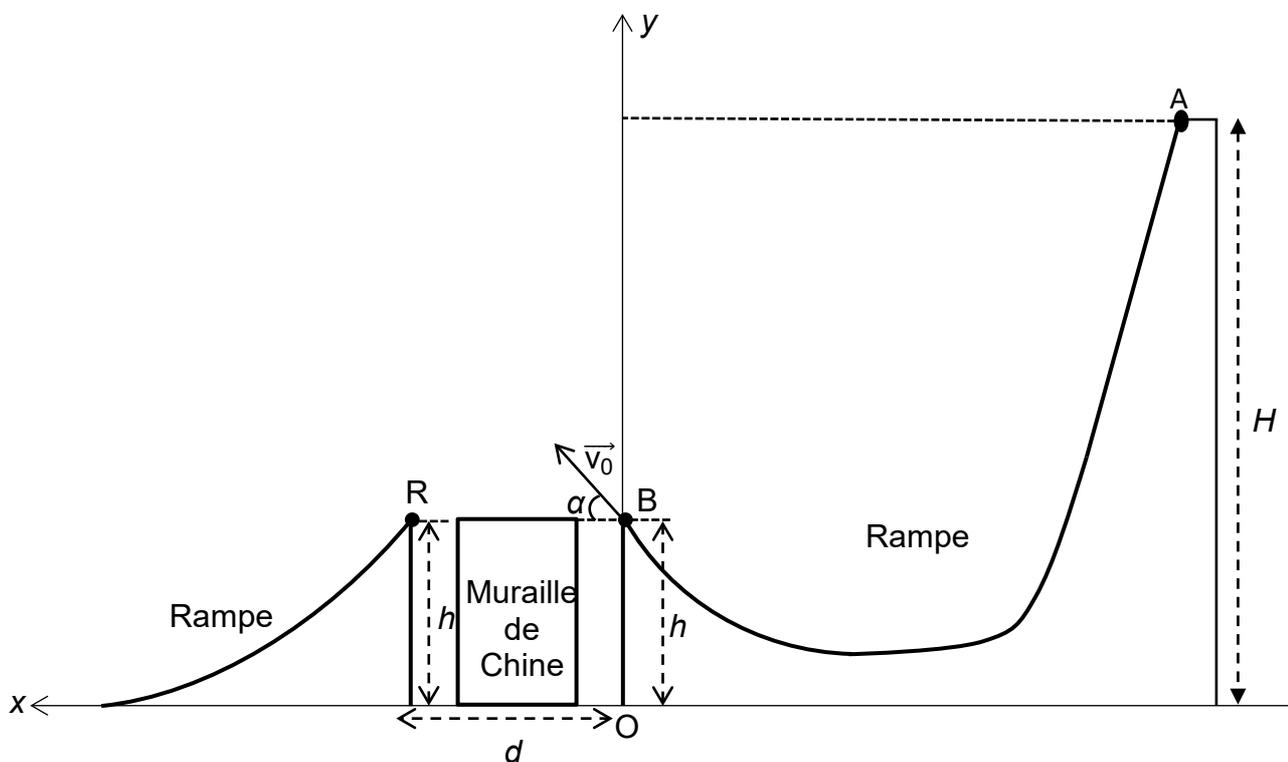


Figure 1. Schéma simplifié d'une partie de la MegaRamp (sans souci d'échelle)

**Données :**

- intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  ;
- altitude par rapport au sol du skateur en sortie de la rampe 1 (point B) :  
 $h = 7,6 \text{ m}$  ;
- valeur de la vitesse du skateur mesurée en sortie de la rampe 1 (point B) :  
 $v_0 = 22,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- angle entre le vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  et l'horizontale :  $\alpha = 14^\circ$  ;
- la largeur de la muraille de Chine est comprise entre 5 m et 7 m.

Le système étudié est le skateur avec son équipement : la masse de l'ensemble est notée  $m$ . Le référentiel d'étude est supposé galiléen, on lui associe un système d'axes  $(Ox ; Oy)$ . L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise en  $y = 0 \text{ m}$ .

**1. Détermination de la hauteur de départ du skateur sur la rampe 1 de lancement**

Le skateur s'élance sans vitesse initiale du point A situé à l'altitude  $H$  par rapport au sol.

**Q1.** Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur du système au point A.

**Q2.** Donner l'expression de l'énergie mécanique du système au point B, en fonction de sa masse, de sa vitesse  $v_0$ , de son altitude par rapport au sol et de l'intensité de pesanteur.

**Q3.** En supposant que les frottements sont négligeables au cours du mouvement du skateur, montrer que l'altitude de départ  $H$  s'exprime par la relation :

$$H = h + \frac{v_0^2}{2g}$$

**Q4.** Dans le cadre de cette hypothèse, calculer la valeur de l'altitude à laquelle doit s'élancer le skateur pour atteindre la vitesse  $v_0$  mesurée.

**Q5.** L'altitude réelle de départ du skateur est d'environ 37 m. Évaluer le travail des forces de frottements entre les points A et B.

## 2. Détermination de la position de la rampe 2 de réception

Dans cette partie, on s'intéresse au saut du skateur au-dessus de la muraille de Chine à partir du point B. On cherche à déterminer la distance  $d$  à laquelle doit être placée la rampe de réception par rapport à la sortie de la rampe de lancement. Les frottements sont négligés.

Les inclinaisons de la rampe 1 à la sortie et celle de la rampe 2 à la réception sont prévues pour minimiser les risques d'accident lors de l'arrivée sur la rampe 2.

**Q6.** En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées du vecteur accélération du skateur lors de la phase de saut.

**Q7.** Établir que l'équation de la trajectoire du skateur lors de son saut au-dessus de la muraille de Chine est :

$$y(x) = - \frac{g}{2 v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + (\tan \alpha) \cdot x + h$$

**Q8.** Évaluer la hauteur maximale atteinte par le skateur une fois qu'il a quitté le point B.

**Q9.** Déterminer, en fonction de  $v_0$ ,  $g$  et  $\alpha$ , l'expression de la distance  $d$  séparant la rampe 1 de la rampe 2 qui permet au skateur d'arriver au point de réception noté R.

**Q10.** Calculer la valeur de la distance  $d$ . Commenter.

### **Exercice 2 : Refroidissement**

À température donnée, la sensation de froid est plus vive en présence de vent que par temps calme. Pour quantifier cet effet, les météorologues calculent l'indice de refroidissement éolien à l'aide d'une relation mathématique empirique, qui tient compte de la température de l'air et de la vitesse du vent.

D'après <https://meteofrance.com/magazine/meteo-questions/quest-ce-que-la-temperature-ressentie>

L'objectif de cet exercice est d'étudier les pertes d'énergie subies par transfert thermique par le corps humain, d'une part en l'absence de vent et, d'autre part en présence de vent ; cette dernière étude est l'occasion d'introduire la notion d'indice de réchauffement éolien.

### Données :

- Le flux thermique  $\Phi_{P \rightarrow F}$  (en watt) échangé entre une paroi à la température  $T_P$  et un fluide à la température  $T_F$  est donné par la loi de Newton :

$$\Phi_{P \rightarrow F} = h \cdot S \cdot (T_P - T_F)$$

où  $h$  représente le coefficient de transfert thermique surfacique et  $S$  représente la surface d'échange ;

- ordres de grandeur utiles à la résolution de l'exercice :
  - surface totale de peau d'une personne :  $S_T = 1,5 \text{ m}^2$  ;
  - consommation énergétique journalière moyenne d'une personne : 10 MJ ;
  - coefficient de transfert thermique surfacique entre la peau et l'air :
    - en l'absence de vent :  $h_{\text{sans}} = 8 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  ;
    - en présence d'un vent de  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  :  $h_{\text{avec}} = 30 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  ;
  - conductivité thermique  $\lambda_\ell$  de la laine de mouton :  $\lambda_\ell = 0,04 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  ;
  - température de la peau (température cutanée) :  $T_C = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  ;
  - température de l'air extérieur :  $T_A = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 1. Étude en l'absence de vent

On définit la résistance thermique par la relation suivante :

$$R_{\text{th}} = \frac{T_1 - T_2}{\Phi_{1 \rightarrow 2}}$$

Avec  $\Phi_{1 \rightarrow 2}$  le flux thermique échangé entre un système « 1 » et un système « 2 » et  $T_1 - T_2$  la différence de température entre les deux systèmes.

**Q1.** Montrer que l'on peut décrire les transferts thermiques entre une surface  $S$  de peau et l'air extérieur en l'absence de vent par une résistance thermique d'expression  $R_{\text{th}} = \frac{1}{h_{\text{sans}} \cdot S}$ . Calculer la valeur de  $R_{\text{th}}$  pour une surface  $S$  de peau de  $10 \text{ cm}^2$ .

**Q2.** La peau est recouverte d'un tissu en laine de surface  $S = 10 \text{ cm}^2$  et d'épaisseur  $e = 1 \text{ cm}$ . Montrer que l'on peut modéliser d'un point de vue thermique cette couche de tissu par une résistance thermique d'expression

$R'_{th} = \frac{e}{\lambda_p \cdot S}$ . On précisera notamment les hypothèses qui sous-tendent cette modélisation.

**Q3.** Calculer la valeur de  $R'_{th}$  pour une surface  $S$  de peau de  $10 \text{ cm}^2$  et commenter le résultat obtenu.

**Q4.** Montrer que la valeur du flux thermique  $\Phi$  échangé entre la peau et l'air extérieur, pour une surface  $S$  de  $10 \text{ cm}^2$  recouverte d'un tissu de laine et pour les valeurs de températures  $T_C$  de la peau cutanée et  $T_A$  de l'air extérieur précisées dans les données, est d'environ  $75 \text{ mW}$ .

**Q5.** Pour une personne et dans ces conditions de température, on souhaite estimer la perte d'énergie journalière associée à ce transfert thermique lorsque la personne protège la totalité de son corps de surface  $S_T$  à l'aide de ce tissu en laine. En adaptant les résultats de la question précédente, calculer la valeur, exprimée en joules, de l'énergie thermique perdue en une journée par une personne. Commenter.

## 2. Étude de l'influence du vent

En météorologie, la température de l'air – dite température sous abri – est, par définition, celle mesurée avec un thermomètre (ou une sonde) placé à  $1,5 \text{ m}$  du sol dans un abri ajouré. Mais la perception physiologique de la température varie d'un individu à l'autre [...]. Ainsi, à température donnée, la sensation de froid est plus vive en présence de vent que par temps calme, à cause du refroidissement éolien.

D'après <https://meteofrance.com/magazine/meteo-questions/quest-ce-que-la-temperature-ressentie>

**Q6.** En s'appuyant sur la loi de Newton, comparer quantitativement les valeurs des deux flux thermiques  $\Phi$  pour une surface  $S = 10 \text{ cm}^2$  de peau à la température  $T_C$  et l'air extérieur à la température  $T_A$  d'une part sans vent, et d'autre part avec un vent de  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Interpréter qualitativement ce résultat du point de vue du ressenti par une personne exposée à ces deux situations.

Pour rendre compte de cette sensation et pour prévenir les risques encourus par les personnes en cas de vent et de grands froids, un indice de refroidissement éolien, noté  $IRE$ , est utilisé ; il est sans unité. Dans les conditions météorologiques considérées dans cet exercice, il est empiriquement défini par la relation suivante :

$$IRE = 13,12 + 0,6215 \times T_A + (0,3965 \times T_A - 11,37) \times v^{0,16}$$

avec  $T_A$  la température de l'air extérieur exprimée en °C et  $v$  la vitesse du vent exprimée en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Le tableau de la figure 1 donne l'indice de refroidissement éolien en fonction de la température de l'air extérieur et de la vitesse du vent.

		Température de l'air extérieur (°C), mesurée sous abri du vent, du Soleil et des intempéries					
		10	5	0,0	-5,0	-10,0	-15,0
Vitesse du vent ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )	5	9,8	4,1	-1,6	-7,3	-12,9	-18,6
	10	8,6	2,7	-3,3	-9,3	-15,3	-21,2
	15	7,9	1,7	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9
	20	7,4	1,1	-5,2	-11,6	-17,9	-24,2
	25	6,9	0,5	-5,9	-12,3	-18,8	-25,2
	30	6,6	0,1	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0

Figure 1. Indice de refroidissement éolien

**Q7.** Commenter le tableau de la figure 1.

**Q8.** Calculer la valeur de l'indice de refroidissement éolien pour une température de l'air extérieur de 2 °C et une vitesse de vent égale à 30  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Commenter le résultat obtenu.

L'indice de refroidissement éolien est souvent désigné par les médias par le terme « température ressentie ». On place un verre rempli d'eau, à une température initiale de 15 °C, à l'extérieur où la température de l'air vaut 2 °C.

**Q9.** Représenter qualitativement, en justifiant, sur un même graphique l'allure probable de l'évolution au cours du temps de la température de l'eau, d'une part en l'absence de vent, et d'autre part avec un vent dont la vitesse est de 30  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . On indique que dans ce cas, la formation d'une couche de glace est observée à la surface de l'eau liquide dans le verre.

**Q10.** Proposer une interprétation à la formation de cette couche de glace.

## CAPES BAC + 3

### Réglementation de la première épreuve d'admissibilité

Extrait de l'annexe de l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré, publié au Journal Officiel du 19 avril 2025

Les candidats au concours externe du CAPES de physique-chimie choisissent au moment de l'inscription la discipline - physique ou chimie - qui fait l'objet de l'évaluation la plus approfondie. Cette discipline est qualifiée de majeure, l'autre étant qualifiée de mineure.

#### A. - Epreuves d'admissibilité

1° Première épreuve d'admissibilité.

L'épreuve consiste en plusieurs exercices. Elle vise à évaluer les connaissances et compétences disciplinaires en physique et en chimie, notamment la capacité à mettre en œuvre une démarche scientifique. Elle est constituée de deux parties :

- une première partie portant sur la discipline majeure ;
- une deuxième partie portant sur la discipline mineure.

Durée : quatre heures.

Coefficient 3.

L'épreuve est notée sur 20. La première partie compte pour 14 points, la seconde pour 6 points.

Une note globale égale ou inférieure à 5 ou une note de zéro à l'une des deux parties sont éliminatoires ;