



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**CONCOURS D'ACCÈS AU CORPS DES PROFESSEURS CERTIFIÉS DE
L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE ET À LA DEUXIÈME CATÉGORIE DES
EMPLOIS DE PROFESSEUR CONTRACTUEL DES ÉTABLISSEMENTS
D'ENSEIGNEMENT AGRICOLE PRIVÉS**

Concours **EXTERNE**

Section **PHYSIQUE-CHIMIE**

SESSION 2023

PREMIÈRE ÉPREUVE

Épreuve Disciplinaire

(Coefficient : 2 – Durée : 5 heures)

Matériel(s) et documents(s) autorisé(s) : Calculatrice

L'épreuve porte sur les deux parties (physique et chimie) du champ disciplinaire du concours en leur accordant une égale importance.

Le candidat rendra une seule copie et respectera le numéro des questions.

Ce sujet comporte **24** pages y compris celle-ci.

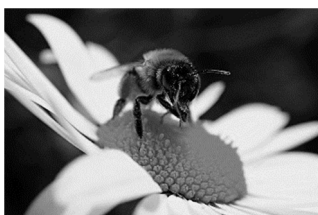
Vérifiez que l'exemplaire qui vous a été remis est complet. Si ce n'est pas le cas, signalez-le aussitôt.

Les annexes (pages **23** et **24**) sont à rendre avec la copie.

SUJET :

Les abeilles au fil des saisons

« Les abeilles au fil des saisons »



Le contexte environnemental préoccupant de ce début de siècle a permis de mettre en lumière le rôle essentiel des abeilles pour nos écosystèmes. L'abeille est en effet un pollinisateur primordial d'environ 70 % des espèces végétales cultivées pour la consommation humaine dans le monde avec notamment les arbres fruitiers et les cultures oléagineuses comme le colza et le tournesol. C'est ainsi que les abeilles sont devenues bien malgré elles des

lanceuses d'alerte de la qualité de notre environnement ces dernières années : leur taux de mortalité (80 % dans certaines ruches d'Europe) est directement lié à l'usage intensif des pesticides sur les cultures.

Par ailleurs, les produits de la ruche (miel, gelée royale, cire) sont excellents à bien des égards, tandis que l'étude de leur infaillible fonctionnement en société (communication, hiérarchie, rôles) se révèle fascinant.

Ce sujet explore de façon non exhaustive la physique et la chimie associées aux abeilles et à l'apiculture au fil des saisons.

A) Le printemps, le temps du butinage : repérage visuel, transmission de l'information, risques.

B) L'été, le temps des miellées : les outils de récolte de l'apiculteur, l'analyse du miel.

C) L'automne, le temps de la préparation de la ruche pour l'hiver : synthèse d'une phéromone de reine.

D) L'hiver, le temps de la lutte contre le froid : étude thermique de la ruche.

Certaines questions, repérées par une barre en marge comme ici, ne sont pas guidées et demandent de l'initiative de la part du candidat. Les pistes de recherche doivent être consignées par le candidat sur sa copie ; si elles sont pertinentes, elles seront valorisées. Le barème tient compte du temps nécessaire pour explorer ces pistes et élaborer un raisonnement, il valorise ces questions de façon très significative.

A) LE PRINTEMPS, LE TEMPS DU BUTINAGE

Une fois le mois de mars passé, les abeilles d'été prennent le relais des abeilles d'hiver et relancent la colonie pour une nouvelle saison. Le pollen frais et le nectar rentrent en masse dans la ruche pour nourrir et alimenter le couvain¹, la reine produisant alors 2 000 à 3 000 œufs par jour, préparant la colonie pour les premières miellées² de l'année.

Source <https://mesabeilles.fr/les-abeilles/le-cycle-de-vie-des-abeilles-au-fil-des-saisons>

Repérage visuel des fleurs à nectar par l'abeille butineuse

Les abeilles, comme les êtres humains, présentent une perception visuelle « trichromique », c'est-à-dire qu'elles possèdent trois photorécepteurs captant chacun la lumière pour des plages de longueurs d'onde différentes (voir **figure 1** ci-dessous), ce qui leur permet de repérer les fleurs à nectar.

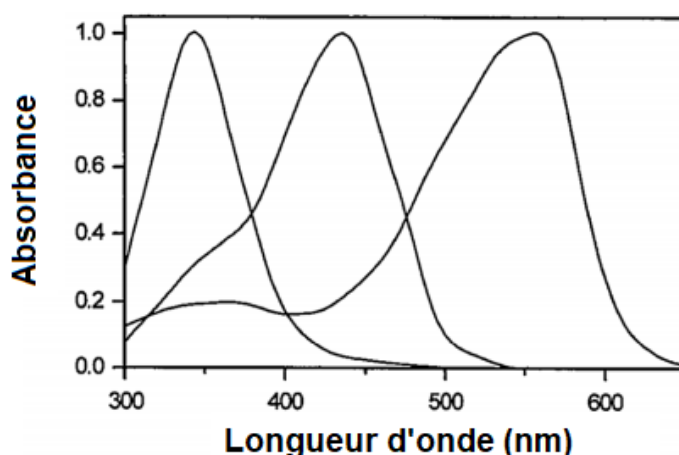


Figure 1 : Spectres d'absorption de la lumière par les 3 photorécepteurs de l'œil de l'abeille D'après J. Comp. Physiol. A (2014) 200 : 411–433

1. Pour chaque maximum d'absorption des trois photorécepteurs de l'abeille, indiquer le nom du domaine spectral de la lumière et la couleur de la radiation absorbée.

Pour repérer une fleur, l'abeille détecte sa réflectance. La réflectance est une mesure de la proportion de lumière réfléchiée par une surface. Le spectre de réflectance, ou courbe de réflectance spectrale, est le graphique représentant la réflectance en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente.

Chaque fleur possède une signature spectrale liée à sa composition chimique mais aussi à la structure de sa surface. On s'intéresse à deux fleurs, *Hepatica nobilis* et *Pyrostegia venusta*, dont les spectres de réflectance sont donnés ci-après sur la **figure 2**.

¹ En apiculture, le couvain d'abeilles ou couvain désigne les œufs, les larves et les nymphes des abeilles. Source Wikipédia

² En apiculture, la miellée correspond à un pic d'activité des essaims d'abeilles au cours duquel la production de miel est la plus intense. Source Wikipédia

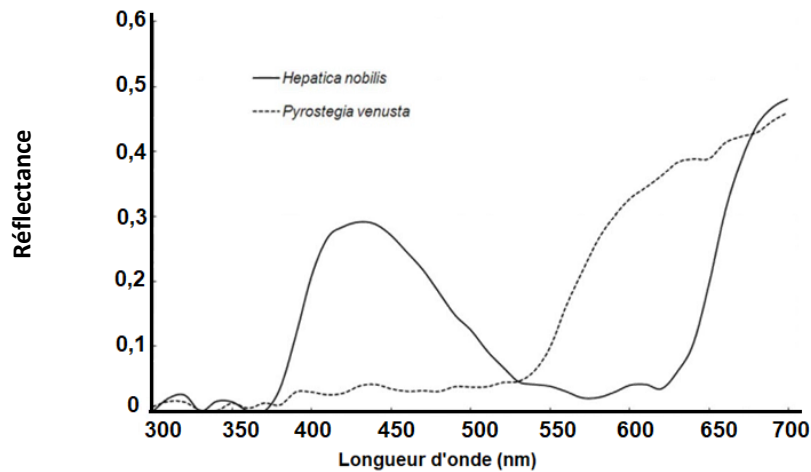


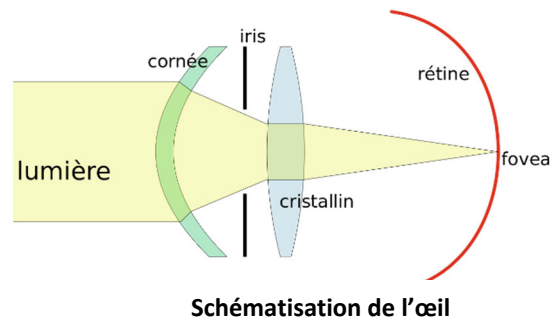
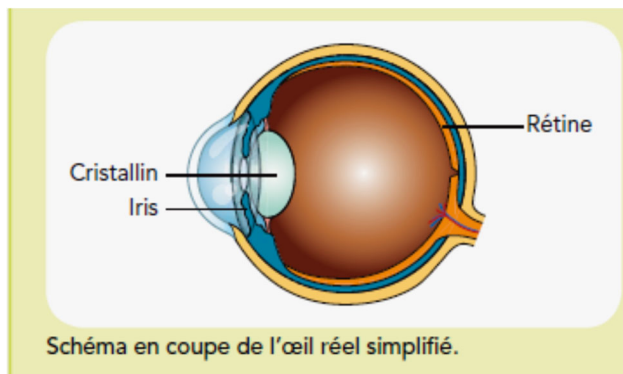
Figure 2 : Spectres de réflectance de la lumière par les deux fleurs étudiées

D'après Plos One (2010) Vol 5, Issue 12, e14287

2. De *Hepatica nobilis* et *Pyrostegia venusta*, indiquer laquelle sera repérée le plus facilement par l'abeille. Justifier.

Les abeilles ont un système visuel très différent de l'être humain.

On s'intéresse à présent à l'œil humain et à quelques-unes de ses caractéristiques.



<https://www.chaurand.fr/site/download/3n-vision-et-image-3.pdf>
https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Modele_optique_oeil.svg

Pour cela, on utilise le modèle classique de l'œil réduit, constitué d'une lentille mince convergente $\mathcal{L}$ de centre O et de distance focale f' variable, correspondant au cristallin, associée à un écran E correspondant quant à lui à la rétine et se trouvant à une distance $d = \overline{OE}$ de la lentille. Cette distance est fixe pour un œil donné (voir **figure 3** ci-dessous).

On considèrera que la distance d entre le cristallin et la rétine vaut $d = 19 \text{ mm}$.

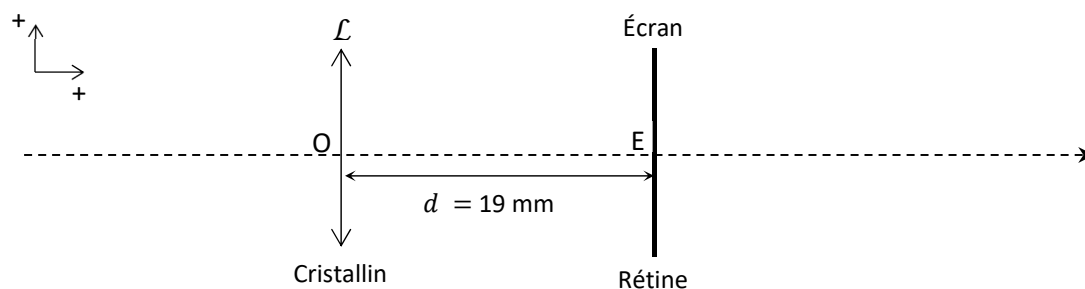


Figure 3 : Schéma du modèle de l'œil réduit

Lorsqu'un œil emmétrope (sans défaut de vision) est au repos, il parvient à voir nettement les objets situés à l'infini ; l'image se forme sur la rétine.

3. À l'aide de la **figure 3**, donner la position particulière du foyer image de la lentille $\mathcal{L}$ modélisant le cristallin de l'œil emmétrope au repos. Justifier votre réponse. En déduire la valeur de la distance focale f_r' de cette lentille $\mathcal{L}$ et la valeur de sa vergence V_r .

Lorsqu'un œil emmétrope regarde un objet proche, on dit que l'œil accommode.

4. Définir brièvement le phénomène d'accommodation ainsi que les points P_R et P_P correspondant respectivement au *punctum remotum* et au *punctum proximum* de l'œil.

L'œil emmétrope accommodant au maximum, observe avec netteté un objet AB situé à une distance $\overline{OA} = -25,0 \text{ cm}$.

5. Déterminer la valeur de la distance focale, notée f_a' , de la lentille $\mathcal{L}$ modélisant le cristallin de l'œil emmétrope accommodant au maximum. En déduire la capacité d'accommodation d'un œil emmétrope, définie par $\Delta V = V_{\max} - V_{\min}$.

On considère un objet AB de dimension $\overline{AB}$ situé à une distance $D = \overline{AO}$ d'un œil dont le cristallin est caractérisé par une distance focale f' telle que l'image A'B' de l'objet AB par le cristallin se forme sur la rétine.

6. Compléter le schéma donné en **annexe 1 page 23 à rendre avec la copie** pour déterminer graphiquement la position du foyer image F' de l'œil réduit ainsi que l'image A'B' de l'objet AB représenté.
7. Établir la relation liant la distance D entre l'objet AB et le cristallin, la distance d entre la rétine et le cristallin et la distance focale f' de la lentille. En déduire la valeur de la distance focale de l'œil permettant de voir nettement cet objet pour une distance $D = 30 \text{ cm}$. Commenter le résultat.
8. Déterminer, pour cette distance $D = 30 \text{ cm}$, la taille de l'image A'B' d'un objet AB de taille $AB = 10 \text{ cm}$ par le cristallin sur la rétine. Conclure sur la nature de l'image en donnant trois caractéristiques.

La rétine est constituée de cellules rétinienne de diamètre a tel que $a \approx 5 \mu\text{m}$. Deux points objet pourront être vus distinctement si leur point image conjugué se forme sur deux cellules distinctes de la rétine, séparées par au moins une cellule intermédiaire.

On appelle pouvoir séparateur angulaire ou capacité de résolution de l'œil, l'angle minimal θ_{lim} entre deux points distingués par l'œil. Il est illustré sur le schéma de la **figure 4** suivante :

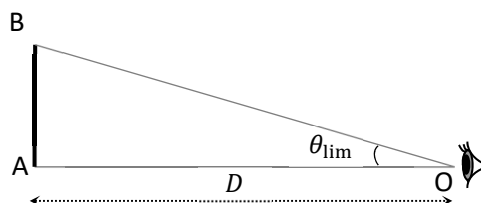


Figure 4 : Pouvoir séparateur angulaire de l'œil

Chez presque tous les invertébrés, dont l'abeille, les yeux sont à facettes, c'est-à-dire qu'ils sont composés de nombreuses petites lentilles ou ommatidies. Il en résulte de nombreuses différences de vision. En particulier, l'œil de l'abeille a une capacité de résolution 60 fois moins bonne que de celle de l'œil humain.

9. Estimer, en prenant un exemple réaliste, la distance maximale D_f à laquelle l'abeille pourra distinguer deux fleurs l'une de l'autre.

Le retour au rucher et la communication entre abeilles quant à la position de nectar

Les déplacements des abeilles

Afin de rechercher du nectar, les abeilles butineuses sortent de la ruche.

On définit l'axe vertical (Oz) ascendant, dirigé selon le vecteur unitaire $\vec{u}_z$, d'origine O la sortie de la ruche, et on notera $\vec{g}$ le champ de pesanteur, considéré comme uniforme, de norme $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

10. Définir la notion de force conservative ainsi que le lien entre force et énergie potentielle. Établir l'expression littérale de l'énergie potentielle de pesanteur.

On propose un modèle simplifié décrivant l'abeille comme un point matériel soumis à la seule force de pesanteur.

On étudie dans ce cadre-là une abeille volant en ligne droite depuis la sortie O de sa ruche située au niveau du sol jusqu'à un point T d'une branche d'un tilleul couverte de fleurs, située à la hauteur $h = 10 \text{ m}$ au-dessus de la ruche et à une distance $L = 15 \text{ m}$ (voir **figure 5**). On suppose que l'abeille est initialement immobile dans la ruche, et qu'elle arrive vers la fleur de tilleul à butiner avec une vitesse $\vec{v}_f$ telle que $v_f = 14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

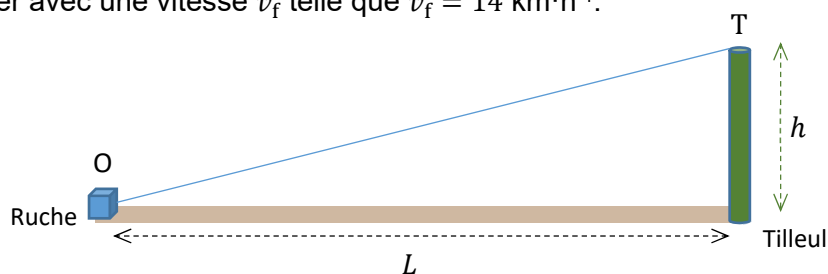


Figure 5 : Trajet de l'abeille butineuse

11. Définir l'énergie mécanique de l'abeille et déterminer sa variation pour une abeille de masse $m_{ab} = 81 \text{ mg}$ effectuant le trajet OT décrit ci-dessus. Effectuer l'application numérique.

Le Prix Nobel de physiologie (1973) Karl Von Frisch a montré que pour communiquer la position d'un lieu où se trouve du nectar, les abeilles effectuaient des danses en forme de 8 (voir **figure 6** ci-après), tout en restant dans le même plan.

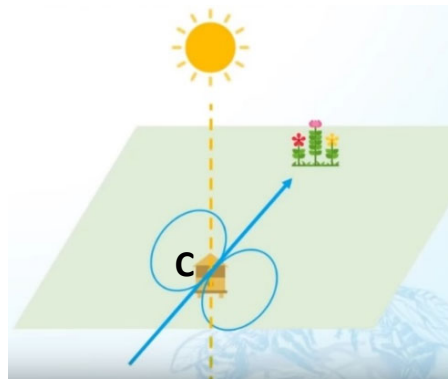


Figure 6 : Danse en 8 des abeilles

D'après le MOOC Le langage des abeilles <https://www.youtube.com/watch?v=8x3mO3Jo3u4>

On considère un trajet correspondant à un 8 tel que décrit sur le schéma ci-dessus, parcouru avec une vitesse supposée constante. On suppose que l'abeille part du centre C du 8 pour y revenir.

- 12.** Dans le cadre du modèle de la **question 11**, déterminer la valeur de la variation d'énergie mécanique de l'abeille lors de ce trajet et commenter la pertinence du résultat obtenu et des hypothèses adoptées.

Une étude détaillée du vol des abeilles à l'horizontale, réalisée en 1995 par U. Hanauer-Thiesser et W. Nachtigall, établit que pour des vitesses de vol de valeur v jusqu'à $5,1 \text{ m s}^{-1}$, la puissance du métabolisme de l'abeille, correspondant à la puissance qu'elle consomme (essentiellement pour battre des ailes), est une fonction affine de sa vitesse instantanée :

$$P_m = 0,008 \cdot v + 0,008 \text{ avec } P_m \text{ en W et } v \text{ en m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Les deux coefficients sont des constantes assurant l'homogénéité de l'expression.

- 13.** En exploitant notamment cette donnée et en faisant l'hypothèse que l'accélération de l'abeille est constante, déterminer l'ordre de grandeur de l'énergie dépensée par l'abeille pour battre des ailes sur le trajet en ligne droite étudié à la **question 11** et représenté **figure 5**.

Analyse sonore des vibrations des abeilles pour communiquer

La complexité des formes de communication qui existent entre les membres de la colonie d'abeilles permet la coordination des actions et sa survie. Parmi les modes de communication utilisés, la communication chimique par la production et la dissémination des phéromones³ est souvent celle à laquelle on pense en premier. D'importantes informations sont pourtant relayées par des signaux acoustiques et des vibrations, autre mode de communication utilisé par les abeilles qui se révèle très efficace dans l'obscurité de la ruche.

Par un son caractéristique, une reine vierge annonce sa présence aux abeilles et à de possibles autres reines en pressant son thorax sur les alvéoles et en faisant vibrer les muscles de ses ailes.

D'après <https://www.agrireseau.net/apiculture/documents/105312/le-chant-de-la-reine>

³ Phéromones : substance chimique comparable aux hormones, émise par la plupart des animaux et certains végétaux, et qui agit comme un message entre les individus d'une même espèce (Wikipédia)

La reine produit ainsi plusieurs sons ou syllabes ; parmi eux, ce chant de la reine dont l'enregistrement est présenté **figure 7**, suivi de son analyse spectrale en **figure 8**.

14. Déterminer en exploitant la **figure 7** la fréquence fondamentale du chant de l'abeille reine étudié.
15. Relever par lecture graphique les valeurs des fréquences des 3 premiers pics du spectre en fréquence du chant de la reine (**figure 8**). Commenter.

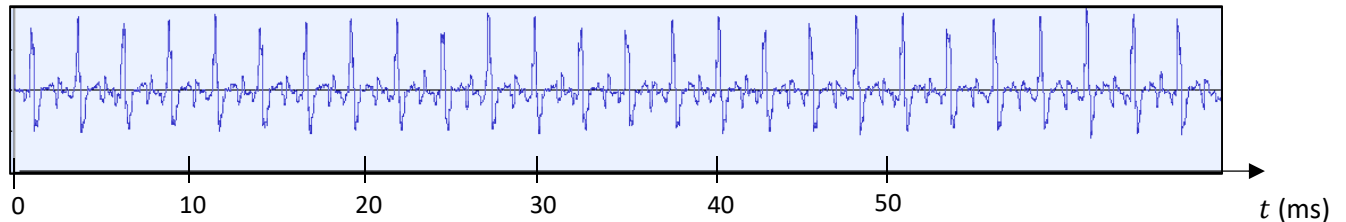


Figure 7 : Chant de la reine - Évolution de l'amplitude du signal sonore (unité arbitraire) en fonction du temps

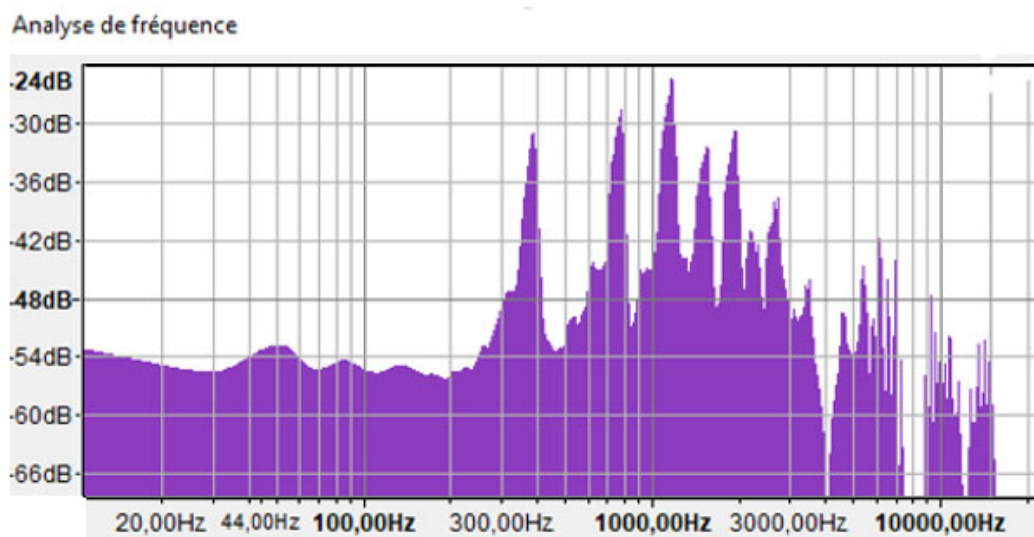


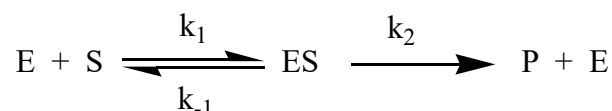
Figure 8 : Chant de la reine - Spectre en fréquence

Mortalité de certaines abeilles liée aux insecticides

Afin de suivre l'incidence des effets des insecticides chez les organismes non cibles tels que les abeilles, les scientifiques étudient la cinétique de l'acétylcholinestérase (AChE), une enzyme du système nerveux. C'est un biomarqueur de choix qui rend compte de l'exposition à des contaminants de façon précoce et à des seuils très faibles.

Une partie de la cinétique de l'AChE peut être décrite et traitée selon le modèle dit de Michaelis-Menten. Dans ce modèle, le substrat noté S (ici l'acétylcholine), en présence d'une enzyme notée E (ici l'AChE), forme un produit noté P avec régénération de l'enzyme (jouant donc le rôle de catalyseur).

Pour cela, le substrat se fixe d'abord sur l'enzyme pour former un complexe appelé « enzyme-substrat », noté ES, qui se décompose ensuite pour donner le produit et régénérer l'enzyme, selon le schéma réactionnel suivant :



Les graphes suivants représentent l'évolution temporelle des concentrations du substrat S, du produit P, de l'enzyme E et du complexe enzyme-substrat formé ES au cours de la transformation pour des valeurs de constantes de vitesse k_1 , k_{-1} et k_2 définies sur le schéma réactionnel.

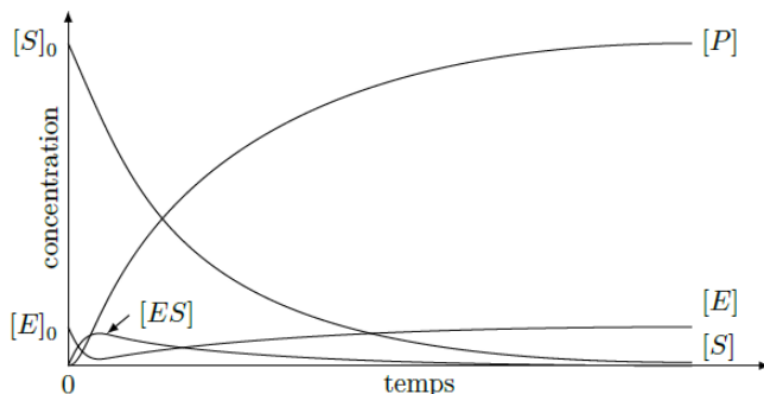


Figure 9 : Évolution temporelle des concentrations des différentes espèces étudiées

D'après dlecorgnechimie.fr

16. Déterminer l'expression de la vitesse V de formation du produit P en fonction des constantes de vitesse k_i ainsi que de certaines concentrations.
17. Préciser pourquoi l'approximation des états quasi-stationnaires est applicable à l'espèce ES. En déduire si le complexe ES est un état de transition ou un intermédiaire réactionnel.
18. Montrer que les différentes concentrations sont reliées par la relation :

$$[ES] = \frac{[E] \cdot [S]}{K_m}$$

On exprimera la constante de Michaelis K_m en fonction des constantes k_1 , k_{-1} et k_2 .

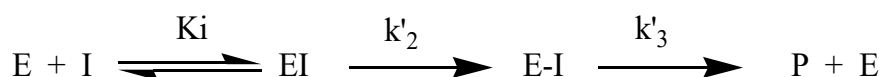
19. Écrire la relation de conservation de la matière pour l'espèce E.
20. Montrer que l'expression de la vitesse V de formation de l'espèce P dans le cadre du modèle de Michaelis-Menten peut s'écrire sous la forme :

$$V = \frac{V_{\max} \cdot [S]}{K_m + [S]}$$

où $V_{\max}$ est une constante que l'on exprimera en fonction de certaines données du problème.

21. Représenter, sans souci d'échelle, l'allure de la courbe $\frac{1}{V}$ en fonction de $\frac{1}{[S]}$ correspondant au mécanisme en l'absence d'inhibiteur enzymatique. Expliquer comment déterminer graphiquement les valeurs des constantes K_m et $V_{\max}$.

Les insecticides, tels les organophosphates ou les carbamates, agissent comme des inhibiteurs de l'AChE. Le schéma d'inhibition de l'AChE par les organophosphates et les carbamates est le suivant, en notant I l'insecticide jouant le rôle d'inhibiteur :



EI est un complexe enzyme-inhibiteur non covalent contrairement à E-I. La dernière étape concerne la régénération de l'enzyme, 10^5 à 10^6 fois plus lente qu'en l'absence d'inhibiteur.

On étudie à présent le mécanisme en présence d'un inhibiteur.

22. Justifier l'emploi du terme "inhibiteur". Expliquer pourquoi, dans le cas présent, l'inhibiteur est qualifié de quasi-irréversible.

23. Dans ces conditions et en s'appuyant comme précédemment sur la conservation de la matière pour l'espèce E, montrer que la loi de vitesse de formation de P peut prendre la forme :
$$V = \frac{V_{\max} \cdot [S]}{K'_m + [S]}$$

On exprimera la constante K'_m en fonction des constantes K_m , K_i , k'_2 et de la concentration en inhibiteur $[I]$.

24. Ajouter sur le graphique de la question **21** la courbe $\frac{1}{V}$ en fonction de $\frac{1}{[S]}$ correspondant au mécanisme en présence d'inhibiteur. Commenter les courbes obtenues en terme d'efficacité de l'enzyme en présence d'un inhibiteur.

B) L'ÉTÉ, LE TEMPS DES MIELLÉES

La colonie continue à se développer pour atteindre son apogée lors du solstice d'été, les butineuses étant alors plus nombreuses que les ouvrières. Après un creux de miellée aux alentours du mois de juin associé à une baisse de l'effectif de la ruche, une miellée dite "d'été" suit, constituant les provisions pour l'hiver. C'est généralement à la fin du mois d'août que les apiculteurs prélèvent le surplus du miel accumulé par les abeilles.

La récolte du miel

Utilisation d'une pompe à miel

Une fois le miel recueilli, il doit être transvasé dans un bac décanteur retenant les impuretés (résidus de cire, pollen, etc.). Pour conserver toutes les qualités du miel, l'apiculteur peut utiliser une pompe à miel qui permet d'éviter tout brassage ou émulsion.

Dans le dispositif étudié, la pompe à miel est reliée au décanteur par un tuyau en PVC de diamètre intérieur de 33 mm, de diamètre extérieur de 42 mm et de longueur totale de 2,5 m.

On pourra considérer en première approximation que la pompe et le bac décanteur sont situés à la même altitude.

Source : <https://www.icko-apiculture.com/tuyau-corfou-diam-int-40-ext-45.html>



Caractéristiques techniques de la pompe à miel étudiée

Pompe aspirante et refoulante.

Moteur triphasé avec variation électronique de vitesse dans les deux sens de rotation.

Alimentation en 220 volts.

Débit optimal de $900 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ avec une température de miel de 30°C .

Pompes à rotation lente : puissance utile $0,37 \text{ kW}$.

Dans les conditions d'utilisation de la pompe à miel, deux types de pertes de charge sont prises en compte :

- Les pertes de charge régulières le long du tuyau en PVC, avec la perte de charge linéique par unité de longueur $\Delta p_{c,l}$, homogène à une pression par unité de longueur, s'exprimant en fonction d'un coefficient de perte de charge linéique Λ , du diamètre D du tuyau utilisé, de la masse volumique ρ_m du miel, et de la vitesse débitante moyenne U dans ce tuyau dont l'expression est donnée par la relation suivante :

$$\Delta p_{c,l} = \Lambda \cdot \frac{\rho_m}{D} \cdot \frac{U^2}{2}$$

avec $\Lambda = \frac{64}{Re}$ où Re est le nombre de Reynolds ayant pour expression

$$Re = \frac{\rho_m \cdot U \cdot D}{\eta_m}$$

avec ici η_m qui est la viscosité dynamique du miel.

- La perte de charge associée à la traversée de la pompe, qui peut s'exprimer comme une longueur supplémentaire de tuyau de valeur $L_p = 22,0$ m.

25. À l'aide d'une analyse dimensionnelle de l'expression des pertes de charge linéique, $\Delta p_{c,l} = \Lambda \cdot \frac{\rho_m}{D} \cdot \frac{U^2}{2}$, discuter de l'unité dans le système international du coefficient de perte de charge linéique Λ .

26. Indiquer les principaux types d'écoulement associés aux différentes plages de valeur du nombre de Reynolds.

La pompe à miel décrite ci-dessus fournit au fluide une « puissance » hydraulique, homogène à une pression, égale à la puissance utile $\mathcal{P}_p$ divisée par le débit du miel dans la canalisation.

27. Exprimer la relation de Bernoulli sur ce système de transvasement du miel dans un bac décanteur en présence de la pompe et en tenant compte des pertes de charge totales, Δp_c , exprimées sous forme de pression.

28. En exploitant les données du contexte, évaluer en s'appuyant sur la relation précédente, l'ordre de grandeur de la viscosité dynamique du miel, en considérant que la pompe fonctionne avec un débit à 85 % de son débit optimal, soit $765 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ et que la masse volumique du miel est égale à $\rho_m = 1,40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Évaluation de la viscosité du miel à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille

La viscosité du miel joue un rôle notable sur les pertes de charge et donc sur le bon fonctionnement de la pompe. C'est pourquoi, la viscosité du miel diminuant avec la température, il est recommandé de chauffer le miel aux alentours de 40°C . Il y a cependant de grandes variations de viscosité d'un miel à l'autre. On peut tester cette caractéristique à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille.

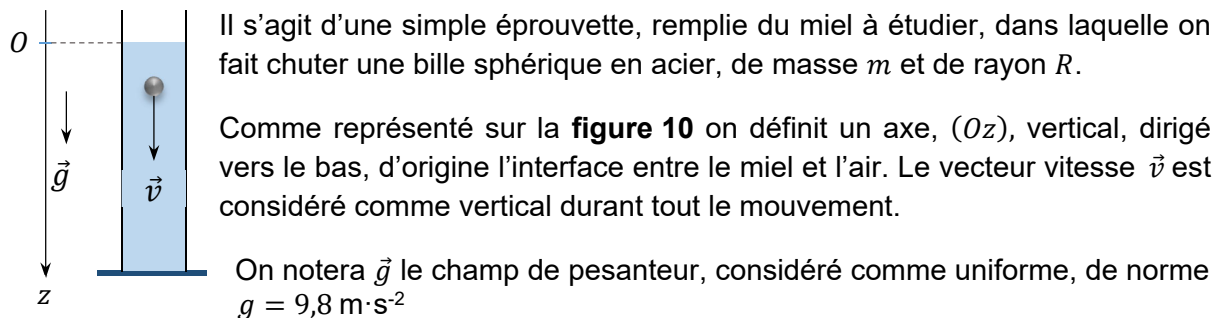


Figure 10 : Schéma d'étude du viscosimètre à chute de bille

La bille est lâchée à l'instant initial $t = 0$ depuis un point de profondeur $z_0 = 0$ sans vitesse initiale.

En choisissant une bille de rayon suffisamment petit par rapport au diamètre de l'éprouvette, la force de frottement exercée par le miel sur la bille se déplaçant à la vitesse $\vec{v}$ est bien décrite par la loi empirique de Stokes, avec à nouveau η_m viscosité dynamique du miel étudié :

$$\vec{f} = -6\pi \cdot \eta_m \cdot R \cdot \vec{v}$$

Cette méthode nécessite d'avoir évalué au préalable la masse volumique ρ_m du miel, avec ici $\rho_m = 1,40 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

29. Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de la masse volumique du miel. On précisera le matériel à utiliser afin d'aboutir à la précision souhaitée.

30. Donner l'expression littérale du vecteur poussée d'Archimède s'exerçant sur la bille.

On appelle poids apparent la résultante du poids et de la poussée d'Archimède.

31. Montrer que l'expression de ce poids apparent correspond au poids d'une bille de masse volumique apparente ρ' telle que $\rho' = \rho_a - \rho_m$, où ρ_a est la masse volumique de la bille en acier.

32. Montrer que la norme v de la vitesse de la bille vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{9 \cdot \eta_m}{2 \cdot \rho_a \cdot R^2} \cdot v = \frac{\rho'}{\rho_a} \cdot g$$

Introduire le temps caractéristique τ du régime transitoire puis la vitesse limite v_{lim} atteinte par la bille, dont on donnera les expressions en fonction des grandeurs caractéristiques du système.

On réalise une captation vidéo de la chute de la bille de masse m et rayon R dans une éprouvette remplie de miel ; le traitement des images par un logiciel adapté permet d'obtenir la courbe représentant l'évolution de la position du centre d'inertie de la bille en fonction du temps, présentée **figure 11**.

La bille de masse m est en acier de masse volumique $\rho_a = 7,79 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et a pour rayon 5,0 mm.

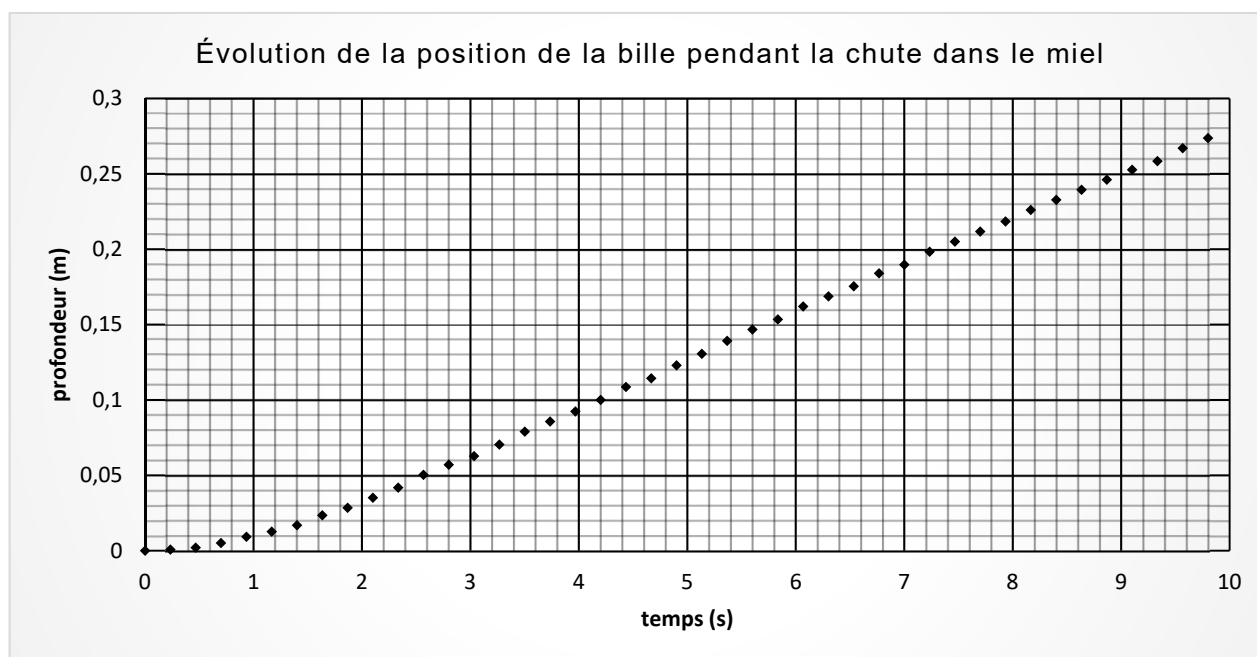


Figure 11 : Chute d'une bille dans du miel

- 33.** Faire une analyse qualitative de la courbe de la **figure 11** en distinguant deux zones puis qualifier le mouvement de la bille sur chacune d'entre elles.
- 34.** Déterminer, en expliquant votre démarche, une valeur expérimentale de la viscosité η_m du miel en vous appuyant sur la courbe présentée **figure 11** puis comparer à la valeur déterminée à la **question 28**. Identifier les sources potentielles d'incertitudes.

Utilisation d'un souffleur à abeille : moteur thermique à deux temps

L'utilisation d'un souffleur pour chasser les abeilles de la ruche est l'une des méthodes courantes utilisée par les apiculteurs professionnels afin de récolter le miel en évitant l'emploi des répulsifs.

Le souffleur étudié est le **souffleur thermique à abeilles**.

Équipé d'un moteur deux temps à explosion (moteur à essence), léger, il est muni d'un tuyau spécial pour diriger le jet d'air dans les cadres de hausse à prélever, et doté d'un dispositif d'atténuation du son afin de ne pas trop perturber l'essaim.



Ses caractéristiques techniques sont les suivantes :

Cylindrée : $V_{\max} - V_{\min} = 27,2 \text{ cm}^3$

Puissance : 0,8 kW

CO₂ g/kWh : 848

Masse : 5,7 kg

Débit d'air : 680 m³/h

Vitesse de l'air : 56 m/s

Force de soufflage : 12 N

Niveau de puissance acoustique L_{weq} : 103 dB(A)

Niveau de pression sonore L_{peq} : 96 dB(A)

Source : <https://www.cooperative-apicole.fr/le-travail-au-rucher-la-recolte-la-recolte-du-miel-souffleur-a-abeilles-a-moteur-thermique,135-1233.htm>

35. En exploitant ces caractéristiques, évaluer la surface de la section de sortie de l'air du souffleur.

Le moteur à explosion est un moteur ditherme, soit un moteur fonctionnant au contact de deux sources de chaleur. On note Q_c et Q_f les quantités de chaleur reçues par le gaz (l'agent thermique) au cours d'un cycle en provenance respectivement des sources chaude et froide et W le travail reçu par le gaz sur l'ensemble du cycle.

36. Représenter le schéma de principe de ce moteur ditherme. Donner, en expliquant brièvement, les signes des différents échanges d'énergie W , Q_c et Q_f .

On s'intéresse tout d'abord au cas d'un moteur ditherme réversible.

37. Définir l'efficacité d'un moteur à l'aide des transferts d'énergie utiles puis établir en justifiant soigneusement l'expression de l'efficacité $\eta_{\text{rév}}$ d'un tel moteur ditherme réversible en fonction des températures T_{ch} de la source chaude et T_{fr} de la source froide.

On peut modéliser le fonctionnement du moteur à explosion par un cycle dit Beau de Rochas, en ne considérant pas les phases d'admission et de refoulement dans le cylindre constituant le moteur, dont on peut, en première approximation, considérer qu'elles se compensent.

On assimile dans toute cette partie le mélange initial d'air et de carburant ainsi que les gaz d'échappement à un gaz parfait unique de coefficient de Laplace $\gamma = 1,4$.

Le transfert thermique fourni chimiquement pendant la combustion est assimilé à une quantité de chaleur Q_c fournie par une source chaude fictive à la température T_{ch} , l'agent thermique étant supposé non modifié.

Ainsi, le système étudié pourra se ramener à un système fermé dont la quantité de matière totale ne varie pas au cours du cycle de transformations suivi.

On prendra pour la constante des gaz parfaits la valeur $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Après admission dans le cylindre, le mélange gazeux air-carburant se trouve dans les conditions suivantes (point **A**) : $P_A = 1 \text{ bar}$, $T_A = 20 \text{ °C}$ et $V_A = 31,1 \text{ cm}^3 = V_{\max}$.

38. Déterminer n_A , la quantité de matière de gaz initialement admise dans le cylindre.

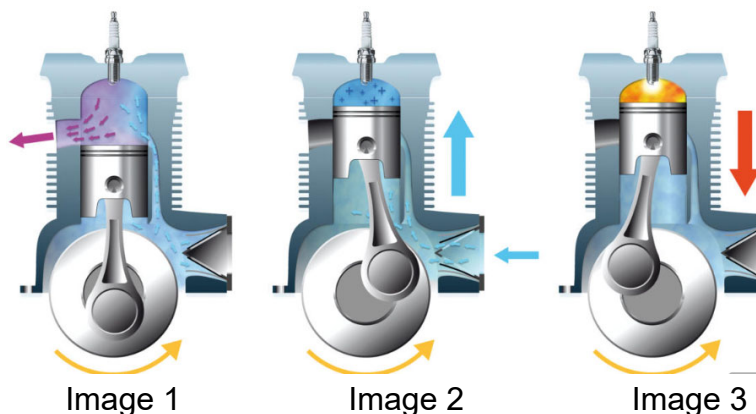
À partir du point **A** précédent, le gaz subit alors la suite de transformations suivantes, supposées toutes mécaniquement réversibles, constituant le cycle dit de Beau de Rochas :

- **A** → **B** : compression adiabatique réversible, telle que $\frac{V_B}{V_A} = \frac{1}{8}$;
- **B** → **C** : combustion isochore instantanée de toute l'essence, provoquée par une étincelle ;
- **C** → **D** : détente adiabatique réversible, telle que $V_D = V_A$;
- **D** → **A** : refroidissement isochore (la pression chute en raison de l'ouverture du cylindre vers l'extérieur).

Dans un moteur 2 temps (représenté ci-dessous), les quatre étapes s'effectuent en un aller-retour de piston, soit un tour de vilebrequin. L'admission du mélange air/carburant/huile s'y fait lors de la montée du piston par dépression (image 2), suivie très rapidement par la compression. L'explosion qui s'en suit provoque la descente du piston (image 3) et l'échappement (image 1).

La partie supérieure du cylindre possède un volume compris entre $V_{\min}$ et $V_{\max}$.

Les schémas suivants illustrent sommairement le principe de fonctionnement d'un tel moteur.



Moteur à deux temps : schématisation de son fonctionnement

<https://moto-station.com/moto-revue/divers/2-temps-ca-marche/128549/attachment/2-temps>

39. Représenter l'ensemble des transformations sur un diagramme (P, V) (ou diagramme de Clapeyron). Indiquer en justifiant brièvement s'il s'agit d'un cycle moteur ou récepteur.
40. Le moteur effectue 13 000 tours par minute. En utilisant des caractéristiques techniques du moteur du souffleur, déterminer l'expression du travail fourni sur un cycle puis effectuer l'application numérique.
41. Déterminer la température du mélange dans l'état **B**.
42. L'étude détaillée de la combustion ne sera pas abordée ; on supposera ici que la température atteinte au point **C** est $T_C = 1\,145\text{ K}$. On considère un moteur réversible qui fonctionnerait entre une source chaude de même température T_{ch} que la température maximale du cycle de Beau de Rochas et une source froide de même température T_{fr} que sa température minimale. Effectuer l'application numérique de l'efficacité $\eta_{\text{rév}}$ d'un tel moteur.
43. Donner l'expression de l'efficacité η_{BR} du cycle de Beau de Rochas en fonction des transferts d'énergie utiles.

En définissant le taux de compression $\alpha = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$ de ce cycle, on montre que l'efficacité du cycle de Beau de Rochas varie selon la relation d'expression $\eta_{BR} = 1 - \alpha^{1-\gamma}$.

Des mesures permettent par ailleurs d'évaluer l'efficacité réelle $\eta_{réelle}$ de ce moteur : $\eta_{réel} = 17 \%$.

44. Effectuer l'application numérique pour l'efficacité η_{BR} et commenter l'écart avec l'efficacité $\eta_{rév}$ du moteur réversible, ainsi qu'avec l'efficacité réelle $\eta_{réelle}$.

Analyse d'un miel

Le miel est la substance naturelle sucrée produite par les abeilles. On distingue principalement le miel de nectar (a) et le miel de miellat (b). Les normes alimentaires internationales spécifient la teneur massique en sucres réducteurs.

CODEX ALIMENTARIUS

NORMES ALIMENTAIRES INTERNATIONALES



Organisation des Nations
Unies pour l'alimentation
et l'agriculture



Organisation
mondiale de la Santé

E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

NORME POUR LE MIEL

CXS 12-1981¹

Adoptée en 1981. Révisée en 1987 et 2001. Amendée en 2019.

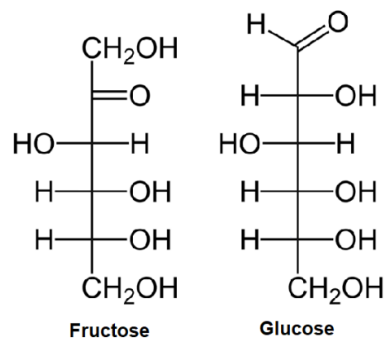
3.5 Teneur en sucres

3.5.1 Teneur en fructose et en glucose (somme des deux)

- | | |
|---|-------------------------|
| (a) Miels non mentionnés ci-après | - au minimum 60 g/100 g |
| (b) Miels de miellat, mélanges de miel de miellat et, de miel de nectar | - au minimum 45 g/100 g |

Le glucose et le fructose, molécules isomères, ci-contre en représentation de Fischer, sont des sucres réducteurs présents dans le miel, de masse molaire $M = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Leur présence peut être mise en évidence par la liqueur de Fehling, une solution aqueuse du complexe ditartratocuiivate noté CuT_2^{2-} fabriquée à partir d'acide tartrique, noté H_2T , et d'ion cuivre II en milieu basique. Initialement de couleur bleu, la liqueur de Fehling vire au rouge par formation d'un précipité (Cu_2O) en présence de sucres réducteurs.

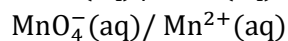
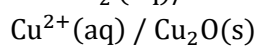
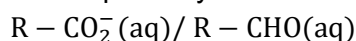


45. On pèse précisément 0,500 g de miel avec lequel on prépare $V_0 = 100$ mL d'une solution aqueuse S_0 . Indiquer la verrerie à utiliser pour préparer exactement 100 mL de solution aqueuse.
46. Préciser la famille fonctionnelle mise en évidence lorsque le test à la liqueur de Fehling est positif. Commenter le cas du fructose.
47. Indiquer la forme prédominante de l'acide tartrique en milieu basique sachant que ses pK_a successifs ont respectivement pour valeur, à 20 °C, $pK_{a1} = 3,04$ et $pK_{a2} = 4,37$.
48. En déduire l'équation de la réaction modélisant la formation du complexe ditartratocuvrate CuT_2^{2-} en milieu basique.

La méthode de Bertrand est une méthode de dosage des oses réducteurs s'appuyant sur des réactions d'oxydoréduction avec la liqueur de Fehling, permettant de doser les sucres réducteurs présents dans le miel. Le principe est le suivant :

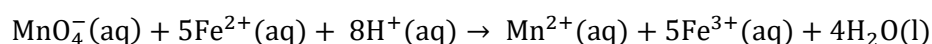
- (1) Le miel contenu dans la solution S_0 est mis à réagir avec un excès de liqueur de Fehling.
- (2) Après filtration, l'oxyde de cuivre Cu_2O formé dans la précédente réaction est oxydé en ion cuivre II en milieu acide par un excès d'ion fer III.
- (3) L'ion fer II issu de cette réaction est titré par une solution de permanganate de potassium ($K^+(aq)$, $MnO_4^-(aq)$), l'équivalence étant repérée par un changement de couleur.

Les couples oxydant-réducteur mis en jeu sont les suivants :



49. Déterminer le nombre d'oxydation du manganèse dans l'ion permanganate MnO_4^- et dans l'ion manganèse Mn^{2+} . Préciser l'intérêt de comparer ces deux nombres.

La transformation chimique se déroulant lors du titrage de l'ion fer II par l'ion permanganate est modélisée par l'équation suivante :



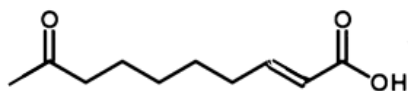
50. Établir les équations des deux réactions successives d'oxydoréduction modélisant ce qui se déroule avant le dosage par titrage lors de la méthode de Bertrand ; on notera $R - CHO$ le sucre réducteur.
51. Indiquer en le justifiant le changement de couleur observé à l'équivalence.
52. Sachant que la solution de permanganate de potassium utilisée est à la concentration en quantité de matière $C = 0,070 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ et que le volume de cette solution versé à l'équivalence est $V_e = 10,0 \text{ mL}$, déterminer la masse totale m des sucres réducteurs dosés.
53. L'expérience a été menée sur un miel de nectar. Indiquer si les résultats expérimentaux sont compatibles avec la nature du miel étudié.

C) L'AUTOMNE, LE TEMPS DE LA PRÉPARATION DU RUCHER POUR L'HIVER

Les jours raccourcissent, les températures baissent progressivement, les dernières belles journées permettent aux abeilles d'accumuler les dernières réserves pour passer l'hiver. La reine pond ses derniers œufs jusqu'à octobre-novembre suivant les régions pour fournir les dernières abeilles d'hiver dont les larves sont nourries avec plus de protéines, ce qui contribue à leur longévité, allant jusqu'à 6 mois.

Communication royale

Bien qu'il soit maintenant prouvé scientifiquement que les phéromones royales ne sont pas les seules à conduire et influencer la vie sociale d'une colonie, celles-ci sont néanmoins les plus importantes, car elles jouent un rôle de cohésion qui est primordial dans la colonie d'abeilles. Il s'agit principalement des phéromones mandibulaires de la reine (QMP = Queen Mandibular Pheromone) composées de plusieurs molécules dont l'acide 9-oxo-dec-2-énoïque (9-ODA) représenté ci-après, connu pour attirer les mâles.



Représentation topologique du 9 – ODA de la QMP

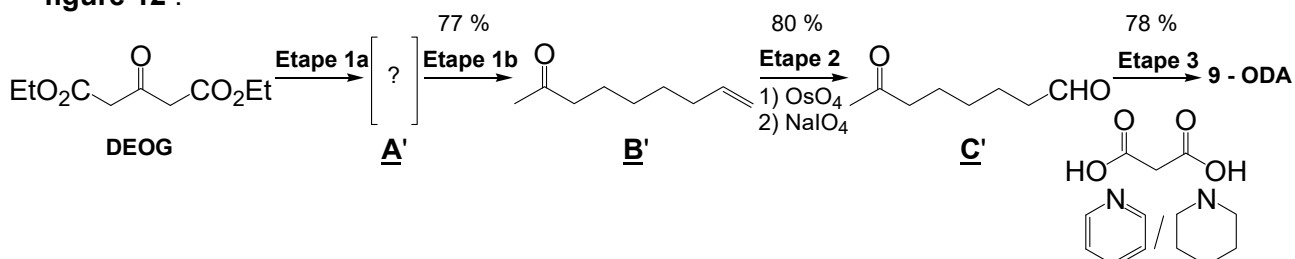
54. Justifier le nom et indiquer la configuration de l'acide 9-oxo-dec-2-énoïque de la QMP.

Les groupes caractéristiques présents dans la molécule du 9-ODA sont courants dans les molécules organiques. Stables, ils possèdent néanmoins une réactivité chimique et peuvent être le point de départ de nombreuses transformations.

55. Identifier les diverses propriétés d'un groupe caractéristique acide carboxylique en terme de réactivité chimique et préciser le cas échéant une manière de l'activer. On pourra illustrer son propos en s'appuyant sur le mécanisme de la réaction d'estérification avec un alcool primaire. Le vocabulaire utilisé sera soigneusement choisi. Préciser l'effet de la fonction alcène dans la molécule de 9-ODA sur la réactivité du groupe acide carboxylique.

56. Le groupe dénommé oxo dans la molécule de 9-ODA peut être mis en évidence par un test coloré. Nommer ce test, le décrire et écrire le bilan de la transformation chimique réalisée.

Une des voies de synthèse de la molécule du 9-ODA de la QMP est présentée ci-dessous en **figure 12** :



D'après Agric. Biol. Chem., 48 (8), 2151-2153, 1984

Figure 12 : Schéma de synthèse du 9-ODA

Le protocole des **étapes (1a + 1b)** est décrit ci-après.

À une solution d'un chélate de magnésium préparée à partir du 3-oxoglutarate de diéthyle (DEOG, 4,04 g, 20 mmol), de copeaux de magnésium (0,73 g, 30 mmol) et de quelques gouttes de diiode dans de l'éthanol absolu (30 mL) est ajouté du 6-bromo-1-hexène (3,6 g, 20 mmol).

Le mélange est porté à reflux pendant 20 h sous agitation. Après évaporation sous vide, le mélange obtenu est un liquide visqueux de couleur marron foncé, correspondant au produit **A'**.

Ce dernier est acidifié avec une solution aqueuse à 10 % en acide chlorhydrique puis extrait avec de l'éther diéthylique. Après évaporation du solvant sous vide, le produit brut est mélangé à une solution aqueuse à 15 % en hydroxyde de sodium (50 mL) puis chauffé pendant 8 h. Après neutralisation, le produit jaune obtenu est purifié par chromatographie sur colonne avec pour éluant un mélange hexane : éther (15 : 1). Le produit **B'** est alors obtenu sous la forme d'un liquide incolore (2,16 g, 77 %) et analysé en spectroscopie IR ; les nombres d'onde, exprimés en cm^{-1} , des vibrations remarquables sont 3070, 1710, 1640.

On donne un extrait d'une table de déplacement IR :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H libre	3500 - 3700	Forte, fine
O-H lié	3200 – 3400	Forte, large
O-H acide	2500 - 3200	Forte à moyenne, large
C _{tri} -H	3000 – 3100	Moyenne
C _{tétra} -H	2800 - 3000	Forte
C=O ester	1700 - 1740	Forte
C=O acide	1680 – 1710	Forte, fine
C=O aldéhyde	1720 - 1740	Forte, fine
C=O cétone	1705 - 1725	Forte et fine
C=C	1635 – 1685	Moyenne

57. Proposer un schéma légendé du montage expérimental permettant de réaliser la transformation chimique correspondant aux **étapes 1a** et **1b**. Préciser clairement les précautions à prendre et les raisons de ces choix, notamment en vue de former *in situ* le chélate de magnésium.

58. Nommer le matériel permettant de réaliser une évaporation sous vide.

59. Calculer la concentration en quantité de matière de la solution d'acide chlorhydrique à 10 % en volume préparée à partir d'acide chlorhydrique commercial à 37 % en masse. Les données utiles sont les suivantes :

Masse molaire moléculaire du chlorure d'hydrogène : $M_{\text{HCl}} = 36,46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Densité à 20 °C d'une solution commerciale à 37 % d'acide chlorhydrique : $d = 1,18$

Pictogrammes de danger :



60. Proposer un protocole permettant de préparer 200 mL de solution d'acide chlorhydrique à 10 % à partir de la solution commerciale dans l'objectif de l'utiliser pour acidifier le mélange contenant l'espèce **A'** ; les précautions à prendre seront mentionnées.

61. Rappeler le rôle d'une chromatographie puis présenter brièvement le principe d'une chromatographie sur colonne.
62. Justifier l'emploi de l'éthanol absolu et non de l'éthanol à 95 % vol.
63. Justifier qu'un carbanion peut se former en alpha du groupe carbonyle du 3-oxoglutarate de diéthyle.
64. Donner un mécanisme de l'étape 1a et représenter le produit **A'**.
65. Étudier la cohérence de l'analyse spectroscopique infrarouge du produit **B'** avec sa structure moléculaire.
66. Préciser, en justifiant, quelle méthode spectroscopique semble la plus adaptée pour vérifier la présence du produit **C'**.
67. Après l'avoir défini, calculer le rendement de cette synthèse sachant que le rendement de 77 % est le rendement global des étapes 1 (1a et 1b) présentées figure 12.

D) L'HIVER, LE TEMPS DE LA LUTTE CONTRE LE FROID

L'activité de la colonie est réduite à son maximum ; les abeilles s'occupent principalement de maintenir la grappe à une température suffisante, en se resserrant et en agitant pour certaines leurs ailes, ce qui nécessite de l'énergie et entraîne donc une consommation de miel. Certains apiculteurs effectuent une isolation thermique extérieure de la ruche à l'aide par exemple de plaques de polystyrène.

Ruche Dadant dans les Alpes provençales

D'après <https://www.flickr.com/photos/alpesdehauteprovence-tourisme/with/8501617772/>



On cherche dans cette partie à étudier certains aspects des transferts thermiques au sein d'une ruche.

Données :

Température intérieure : $T_i = 10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, supposée uniforme (en réalité, l'intérieur de la grappe où se trouve la reine atteint des températures d'environ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Température extérieure : $T_e = 5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, supposée uniforme

Conductivités thermiques λ (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) :

Bois : $\lambda_b = 1,00$

Polystyrène expansé : $\lambda_{\text{PSE}} = 0,036$

On s'intéresse d'abord à une unique paroi d'une ruche en bois non isolée, de surface S , d'épaisseur e et de conductivité thermique λ_b supposées constantes et uniformes pour l'ensemble de la paroi (voir **figure 13** ci-après).

On note $\vec{e}_x$ le vecteur unitaire normal à la surface de la paroi, dirigé vers l'extérieur de la ruche.

On tient compte uniquement des transferts thermiques par conduction, et on considère la conduction comme étant unidimensionnelle selon le vecteur $\vec{e}_x$.

On souhaite étudier l'évolution des températures dans la paroi et on définit pour cela un axe (Ox) de vecteur $\vec{e}_x$ et d'origine O située sur la paroi intérieure de la ruche (voir **figure 13**).

On se place de plus en régime stationnaire, les différentes grandeurs ne dépendant alors que de x .

On note $\Phi(x)$ le flux thermique à travers une surface S située à x constant et $\vec{j}_{th}(x)$ le vecteur densité surfacique de flux thermique associée.

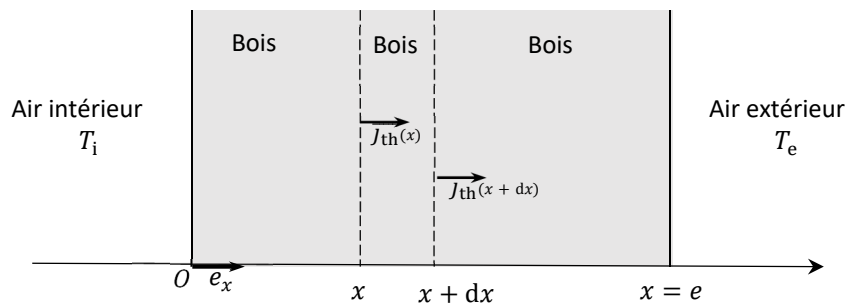


Figure 13 : Flux thermique à travers une paroi de la ruche en régime stationnaire

68. Donner la relation dans le cas général entre flux thermique Φ et densité de flux thermique $\vec{j}_{th}$ en précisant les unités de ces grandeurs dans le système international d'unités, puis indiquer la relation simplifiée entre $\Phi(x)$ et $J_{th}(x)$ dans le cas étudié.
69. Énoncer la loi de Fourier décrivant le transfert thermique par conduction, ainsi que sa simplification dans le cas d'une conduction unidimensionnelle selon $\vec{e}_x$.
70. Justifier à l'aide d'un bilan énergétique que le flux thermique en régime stationnaire est le même à travers toutes les sections de la paroi.
71. En déduire que la température $T(x)$ varie suivant une fonction affine de la position x à travers la paroi de la ruche de la forme $T(x) = ax + b$. Établir les expressions des coefficients a et b en fonction de la température T_i à l'intérieur de la ruche et de la température extérieure T_e . Tracer l'allure de la courbe représentative de $T(x)$ pour $x \in [-e, 2e]$.
72. Compléter le tableau fourni en **annexe 2 page 24 à rendre avec la copie** faisant l'analogie entre les transferts thermiques par conduction et la conduction électrique.

On souhaite à présent étudier l'isolation de la ruche qui permet de limiter les pertes d'énergie des abeilles et d'améliorer leur survie en cas d'épisode de froid intense. Certains apiculteurs préfèrent toutefois ne pas isoler les ruches, les abeilles pouvant être trompées par des températures ressenties trop douces et s'épuiser dans une quête prématurée de fleurs à butiner.

On utilise pour cette isolation une plaque de polystyrène expansé (PSE) de même surface S que la paroi en bois étudiée ci-dessus, d'épaisseur e_{PSE} et de conductivité thermique λ_{PSE} positionnée entre la paroi et l'intérieur de la ruche (voir **figure 14** ci-après).

On se place à nouveau en régime stationnaire, le flux Φ étant le même à travers toutes les sections de la paroi entre $x = 0$ et $x = e + e_{PSE}$. On supposera, à nouveau pour simplifier, la température uniforme à l'intérieur de la ruche. On note R_{iso} la résistance thermique totale de la paroi isolée, tenant compte à la fois de la couche de bois et de celle de polystyrène expansé.

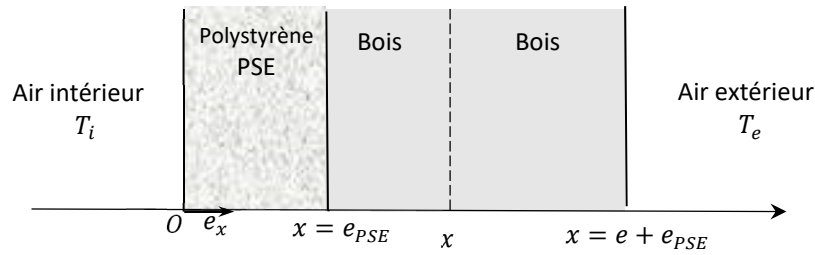


Figure 14 : Paroi d'une ruche isolée avec une couche de polystyrène expansé

- 73.** Montrer que la résistance thermique de la paroi de la ruche de surface S a pour expression $R_{th} = \frac{e}{\lambda_b \cdot S}$. Faire l'application numérique pour une paroi en bois de ruche non isolée de dimensions $430 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ et d'épaisseur 20 mm .
- 74.** Exprimer la résistance totale R_{iso} de la paroi de la ruche isolée en fonction des grandeurs suivantes : S , e , e_{PSE} , λ_b et λ_{PSE} .
- 75.** Déterminer l'expression de l'épaisseur e_{PSE} de polystyrène à utiliser pour diviser les pertes de chaleur par 2 et effectuer l'application numérique. Commenter le résultat obtenu et le modèle sachant que l'épaisseur réelle de PSE utilisée en apiculture est 4 cm .

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)



Prénom(s) :

Centre
d'épreuves :

Né(e) le :

Concours/Examen : Épreuve : N° sujet :

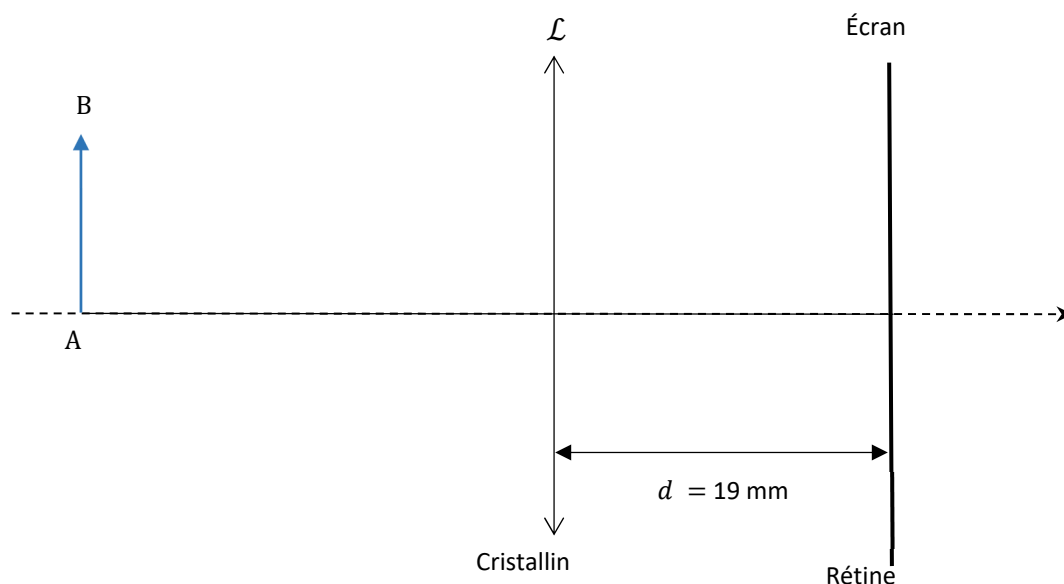
Section-option/S spécialité/BAP/Domaine :

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Indiquer le n° du sujet quand l'épreuve comporte plusieurs sujets au choix.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre noire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Annexe 1 Question 6 schéma à compléter



Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)



Prénom(s) :

Centre
d'épreuves :

Né(e) le :

Concours/Examen : Épreuve : N° sujet :

Section-option/S spécialité/BAP/Domaine :

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Indiquer le n° du sujet quand l'épreuve comporte plusieurs sujets au choix.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre noire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

Annexe 2 Question 72 Tableau à compléter

	Conduction thermique	Conduction électrique
Cause de la conduction : gradient de ...		
Nom et symbole de grandeur traversant la surface Σ étudiée		
Expression du débit de la grandeur sous la forme « Débit = $\dots \frac{d}{dt} \dots$ »		
Compléter l'intitulé puis donner l'expression du flux dans « Débit de ... = flux de ... à travers la surface Σ étudiée »		
Loi locale (Nom et expression)		
Conductivité (nom et symbole)		
Résistance (Faire un schéma précisant la convention d'orientation retenue)		