

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

PHYSIQUE-CHIMIE

Epreuve de spécialité

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

SUJET 2

Exercice 1: L'ACIDE FORMIQUE (10 POINTS)

Exercice 2: TABLE CONNECTÉE (5 POINTS)

Exercice 3: LE MUR TROMBE-MICHEL (5 POINTS)

EXERCICE 1: L'ACIDE FORMIQUE (10 POINTS)

L'acide formique est l'une des rares espèces chimiques dont le nom d'usage dérive d'une espèce animale, cet acide étant sécrété par les fourmis pour se défendre des agresseurs. De nos jours, il est synthétisé industriellement et participe à de nombreux usages.



Cet exercice est composé de 3 parties indépendantes

Partie A : Un remède contre les piqûres de fourmi.

Partie B : Dosage d'un produit commercial à base d'acide formique.

Partie C : Synthèse d'un dérivé de l'acide formique utilisé dans l'industrie alimentaire.

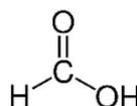
Partie A - Un remède contre les piqûres de fourmis

Certaines espèces de fourmis peuvent mordre ou piquer l'épiderme et injecter leur venin qui est une solution aqueuse contenant de l'acide formique. Les piqûres de fourmis entraînent des rougeurs et des démangeaisons et peuvent également provoquer des allergies plus graves.

Afin de calmer les démangeaisons, un remède traditionnel consiste à frotter la partie irritée avec du carbonate de sodium, solide ionique de formule Na_2CO_3 , pour neutraliser l'acide formique.

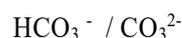
Données :

- Formule semi-développée de l'acide formique :



- Couples acide / base:

Ion hydrogénocarbonate / ion carbonate



Acide formique / ion formiate



Préfixes utilisés pour la nomenclature :

Nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5
Préfixe	méth-	éth-	prop-	but-	pent-

1. Recopier la formule semi-développée de l'acide formique et entourer le groupe caractéristique justifiant le terme acide dans le nom de cette espèce chimique.
2. Justifier que l'acide formique se nomme acide méthanoïque dans la nomenclature officielle.
3. Écrire l'équation de dissolution du carbonate de sodium dans l'eau.
4. Écrire une équation de réaction qui met en évidence le rôle de l'ion carbonate lors de l'utilisation de ce remède. Préciser ce rôle.

Partie B – Dosage d'un produit commercial contenant de l'acide formique

On se propose de vérifier la qualité d'une solution aqueuse commerciale S_0 , contenant de l'acide formique, préconisée dans la lutte contre le varroa qui est un parasite tenu pour responsable de l'affaiblissement des colonies d'abeilles.

L'étiquette du flacon de la solution commerciale porte l'indication « 65 % », qui est la valeur du pourcentage en masse d'acide formique contenu dans la solution commerciale.

On souhaite vérifier cette valeur en réalisant un titrage par suivi pH-métrique.

Données :

- Pictogramme visible sur le flacon d'acide formique :



Corrosif

- Densité de la solution S_0 d'acide formique : $d = 1,15$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1,00 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$
- Masse molaire moléculaire de l'acide formique : $M = 46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Couples acide / base :
HCOOH / HCOO⁻
H₂O / HO⁻

Concentration de la solution commerciale

5. Montrer que, si l'indication « 65 % » portée sur l'étiquette est exacte, la concentration en acide formique de la solution commerciale a pour valeur $C_0 = 16,3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
6. Citer deux règles de sécurité à respecter lors de l'utilisation de cette solution commerciale.

Préparation de la solution à doser

Pour effectuer le titrage, on dispose d'une solution aqueuse titrante d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$) de concentration en soluté apporté $C_B = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

7. Écrire la réaction support du dosage.
8. Définir l'équivalence et en déduire le volume V_{B0eq} de solution d'hydroxyde de sodium qu'il faudrait verser à l'équivalence pour doser un volume $V_A = 10 \text{ mL}$ de solution commerciale S_0 . Commenter la valeur de V_{B0eq} .
9. Montrer qu'une dilution au 100^{ième} de la solution S_0 permet de réaliser le dosage de $V_A = 10,0 \text{ mL}$ de cette solution diluée notée S_1 , avec un volume à l'équivalence V_{B1eq} compris entre 15 mL et 20 mL.

Mise en œuvre du titrage pH-métrique d'une solution diluée S_1 de S_0 .

On dose $V_A = 10,0 \text{ mL}$ d'une solution diluée S_1 de concentration $C_I = C_0/100$, où C_0 est la concentration de la solution S_0 , à l'aide de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium précédente.

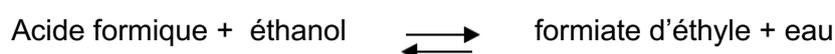
On obtient une courbe $\text{pH} = f(V_B)$ en **annexe en dernière page à rendre avec la copie**, où V_B est le volume de la solution d'hydroxyde de sodium versée.

10. Faire un schéma annoté du dispositif utilisé pour réaliser ce titrage.
11. À l'aide de la courbe $\text{pH} = f(V_B)$, déterminer si la solution d'acide formique S_0 est bien une solution à 65 %. Commenter l'écart éventuel avec cette valeur.

Partie C - Synthèse d'un dérivé de l'acide formique utilisé dans l'industrie alimentaire : le formiate d'éthyle

Le formiate d'éthyle est un ester éthylique dérivé de l'acide formique. Il est utilisé comme colorant alimentaire. Sa formule brute est $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$.

Sa synthèse est mise en oeuvre selon le schéma suivant :



Dans cette **partie C**, on analyse un protocole expérimental afin de déterminer le rendement et la pureté du produit obtenu.

Données :

Espèce chimique	Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Masse volumique ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Température d'ébullition ($^{\circ}\text{C}$)	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'éthanol
Acide formique	46	1,22	100,7	Grande	Faible
Éthanol	46	0,81	78,0	Grande	***
Formiate d'éthyle	74	0,92	54,5	Faible	Faible
Eau	18	1,00	100,0	***	Grande

Réalisation de la synthèse

Protocole :

- Placer dans un ballon, sous agitation, 20 mL d'acide formique et 20 mL d'éthanol.
- Ajouter goutte à goutte 2 mL d'acide sulfurique concentré qui joue le rôle de catalyseur.
- Réaliser le montage de la figure 1 ci-dessous puis chauffer le mélange à ébullition douce.

Observation :

Quand les premières gouttes de distillat tombent dans l'erenmeyer, la température θ en tête de colonne a pour valeur : $\theta = 55^{\circ}\text{C}$.

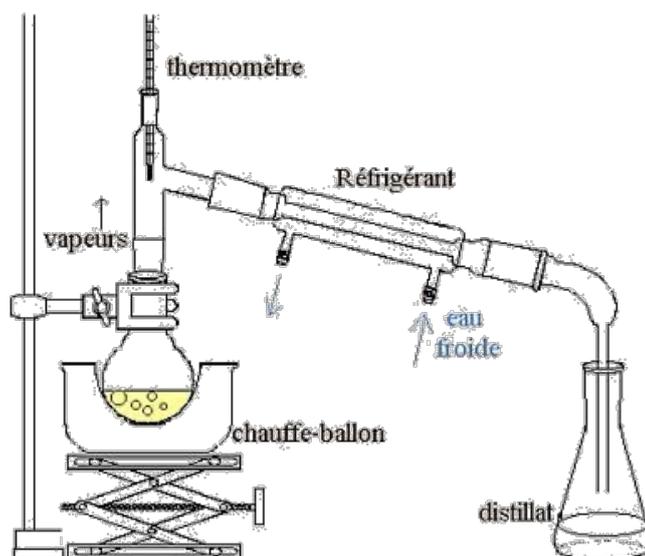


Figure 1. Schéma du montage

12. Indiquer le rôle d'un catalyseur comme l'acide sulfurique dans cette synthèse.
13. Donner une raison pour laquelle il est nécessaire de chauffer lors de cette synthèse.

Rendement de la synthèse

14. Montrer que les quantités initiales de réactifs sont égales à :

$$n_{i \text{ acide formique}} = 0,53 \text{ mol et } n_{i \text{ éthanol}} = 0,35 \text{ mol}$$

15. Expliquer l'intérêt d'utiliser un réactif en excès pour la synthèse du formiate d'éthyle.
16. Indiquer la quantité de matière maximale de formiate d'éthyle formée si on suppose que la réaction est totale.

Expérimentalement, on obtient un distillat de masse $m = 22,5 \text{ g}$.
On suppose que le distillat est composé uniquement d'ester.

17. En déduire la quantité de matière d'ester obtenue.
18. Exprimer puis calculer le rendement r de cette synthèse.
19. Justifier l'intérêt du montage utilisé pour favoriser le rendement de la synthèse.

On mesure le volume du distillat. On trouve $V = 25,1 \text{ mL}$.

20. Déterminer la masse volumique du distillat et émettre une hypothèse sur sa pureté.

Le spectre IR du distillat est donné ci-dessous (figure 2).

21. À partir de l'analyse du spectre, dire si l'hypothèse émise à la question 20 est confirmée ou infirmée et préciser si la valeur du rendement obtenue à la question 18 doit être revue.

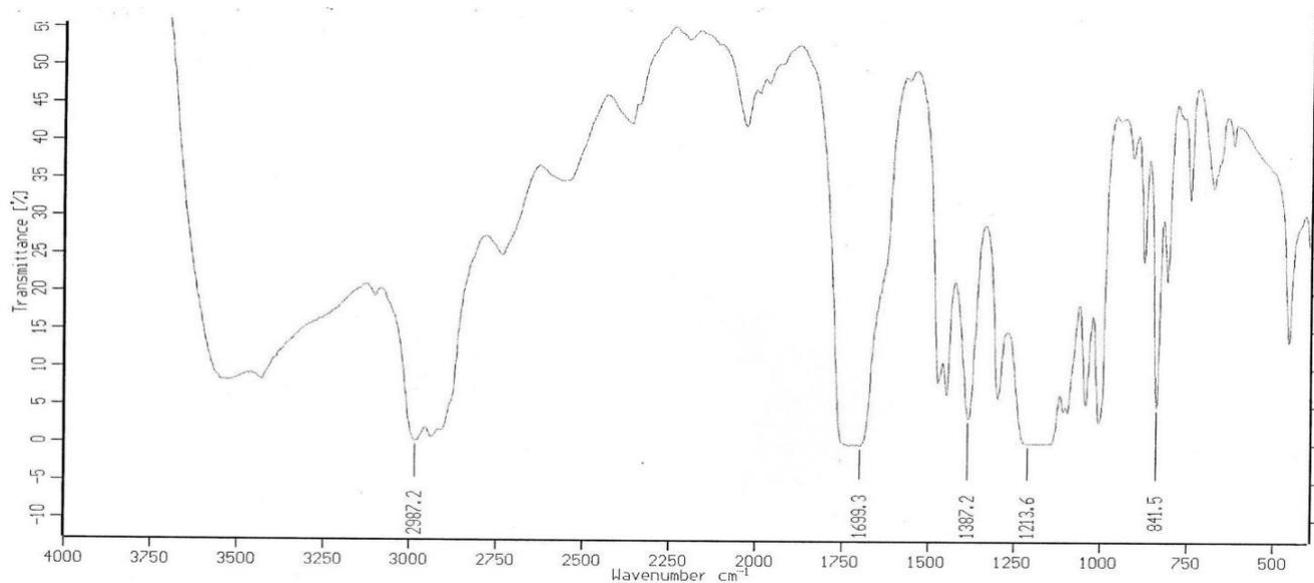


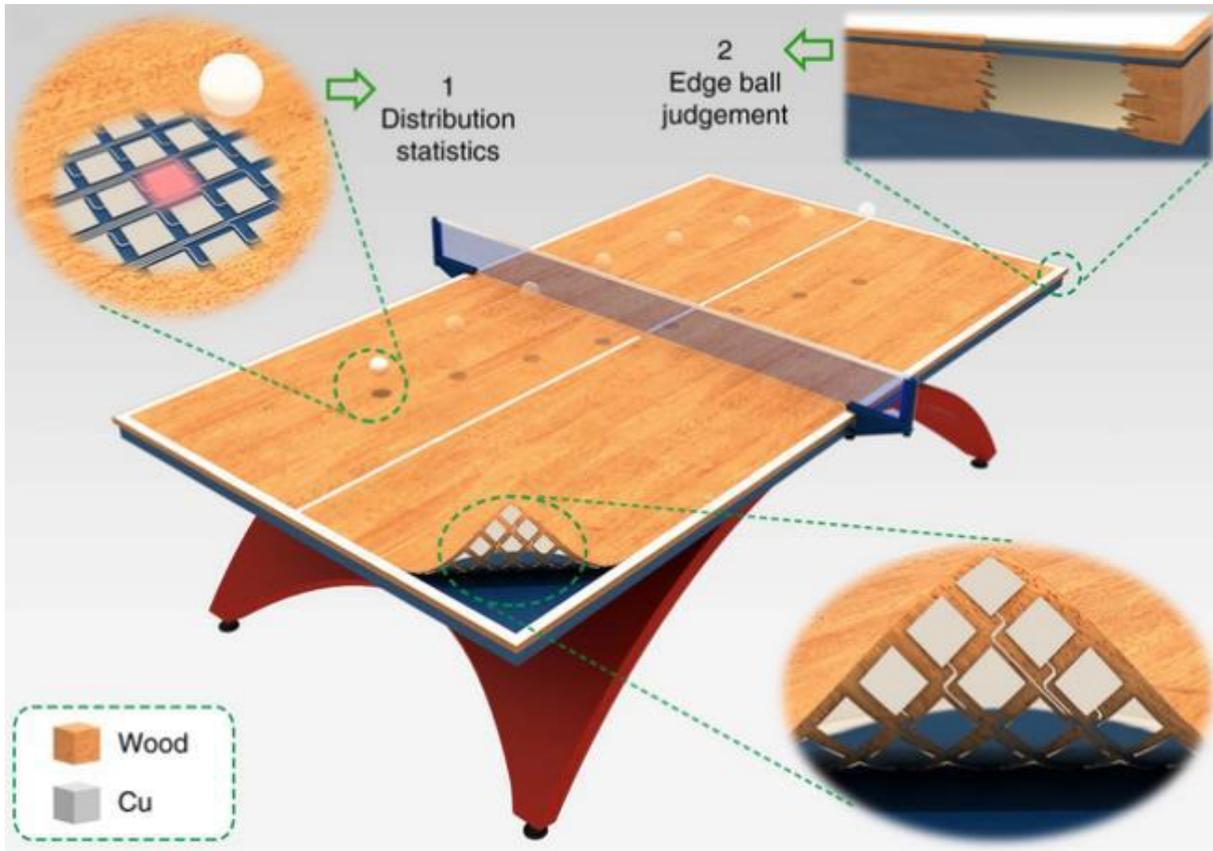
Figure 2. Spectre infrarouge du produit obtenu (distillat)

Données : bandes d'absorption en spectroscopie IR

liaison	C=O	O-H (acide carboxylique)	C-H	O-H (alcool)
Nombre d'onde (cm ⁻¹)	1700-1800 Bande forte et fine	2500-3200 Bande forte et large	2800-3000	3200-3700 Bande forte et large

EXERCICE 2 : TABLE CONNECTÉE (5 POINTS)

Des chercheurs ont développé une table de tennis de table connectée qui permet d'identifier les points de chute d'une balle et de déterminer sa vitesse lorsqu'elle touche la table. L'analyse des données peut être utilisée pour améliorer la performance des joueurs.

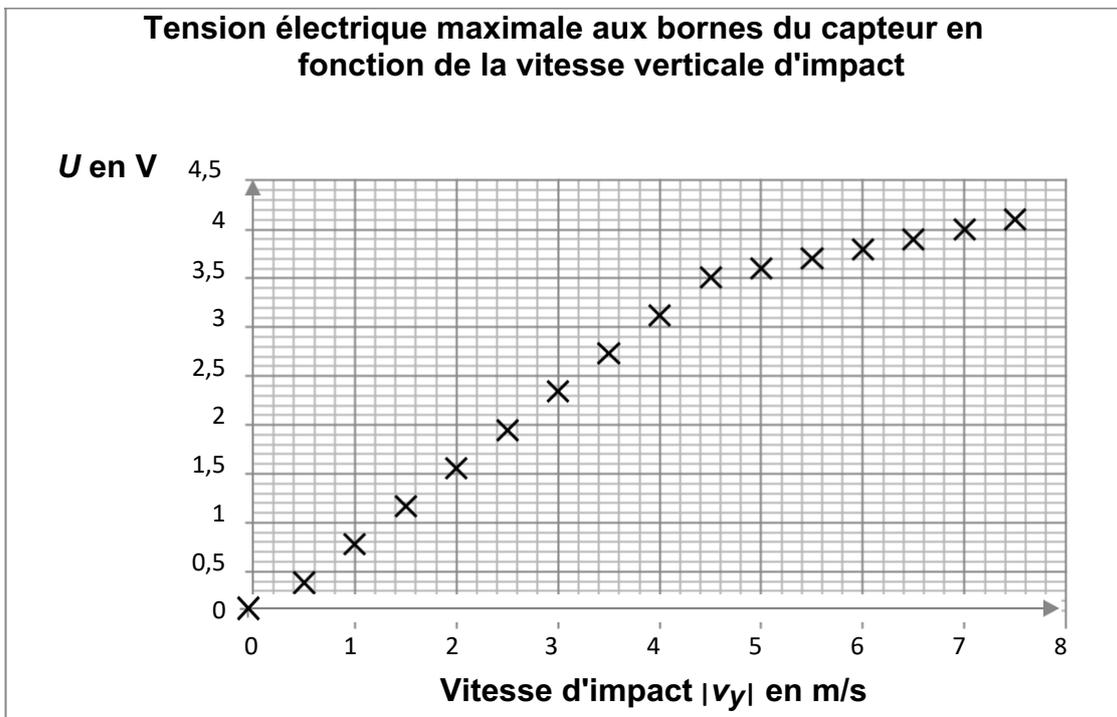


<https://www.nature.com/articles/s41467-019-13166-6>

Caractéristiques des capteurs de vitesse

La table connectée est équipée de capteurs qui convertissent les contraintes mécaniques reçues en tension électrique. Ces capteurs ont une surface sensible carrée d'environ 4 cm de côté. Lorsqu'une balle rebondit sur la surface sensible, un capteur horizontal délivre une tension variable dans le temps dont la valeur maximale U dépend de la valeur de la composante verticale de la vitesse que la balle possède juste avant de rentrer en contact avec le capteur.

Dans une étude expérimentale où le capteur est horizontal et où la verticale ascendante est la direction de l'axe Oy , on obtient les résultats résumés par le graphique suivant, où $|v_y|$ est la valeur absolue de la composante v_y de la vitesse avant l'impact.



- Justifier que pour des vitesses d'impact $|v_y|$ inférieures à $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la tension électrique U est proportionnelle à $|v_y|$. En déduire dans ce domaine de vitesses la relation entre $|v_y|$ et U avec $|v_y|$ exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et U en V.

Un exemple de programme Python permettant l'affichage de la vitesse d'impact verticale à partir de la tension U est proposé ci-dessous :

```
# U est la tension maximale aux bornes du capteur en V
# v est la valeur absolue de la composante  $v_y$  de la vitesse avant
# l'impact, en m/s.
```

```
Ulim = 3.5
if U < Ulim:
    v = 1.3*U
else:
    v = 5,0*U-13
print("La vitesse d'impact est",v,"en m/s")
```

- Expliquer la nécessité d'utiliser la variable « $U_{\text{lim}} = 3.5$ » dans le programme informatique.
- Calculer la valeur de la vitesse d'impact affichée par ce programme pour une tension U de $4,0 \text{ V}$. Comparer la valeur calculée à la valeur mesurée correspondante.

Exemple d'utilisation

On étudie le mouvement d'une balle de ping pong (tennis de table) de masse $m = 2,7 \text{ g}$ qui évolue dans le champ de pesanteur terrestre supposé uniforme. On néglige l'action de l'air.

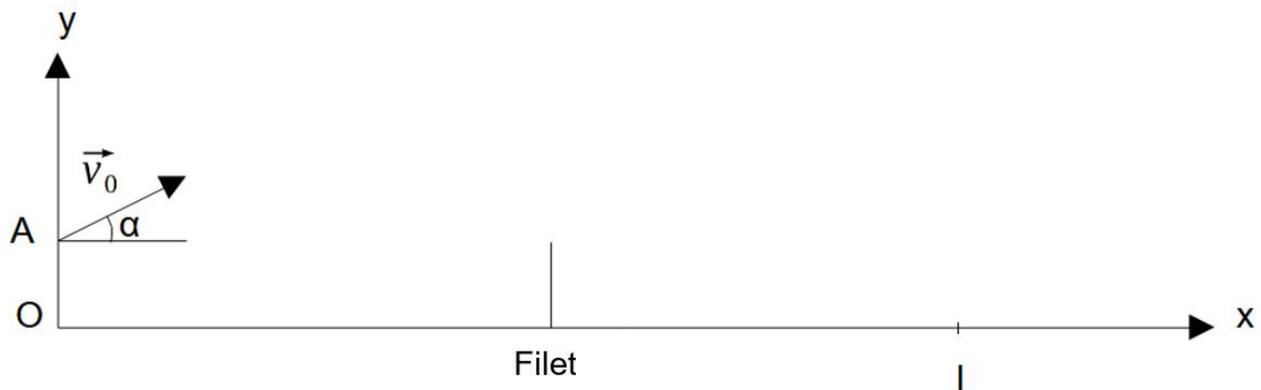
L'étude du mouvement de la balle est réalisée dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, dans lequel on choisit un repère $(O;x;y)$ où la verticale ascendante est parallèle à l'axe Oy . La table est dans le plan $y = 0$. Le point O est au bord de la table et l'axe Ox est parallèle au grand côté de la table dont la longueur est $2,74 \text{ m}$.

À la date $t = 0 \text{ s}$, la balle est située au point A sur la verticale de O à la hauteur $h = OA = 0,10 \text{ m}$. La balle part du point A avec une vitesse $v_0 = 5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ faisant un angle $\alpha = 30,0^\circ$ avec l'horizontale.

À la date t_i , elle touche la table au point d'impact I de coordonnées $(x_i; 0)$.

Le document 1, tracé sans souci d'échelle, schématise la situation.

Représentation schématique du problème



Donnée

valeur du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- La balle de ping pong est une sphère de diamètre $d = 40 \text{ mm}$. On étudie le mouvement de son centre de masse, localisé au centre de la sphère. Justifier qualitativement la position de ce centre de masse.
- Indiquer, dans le cadre du modèle choisi, les caractéristiques (direction, sens et valeur) de la force appliquée à la balle pendant son mouvement.
- Montrer que les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse du centre de masse de la balle au cours de son mouvement sont données par les relations :

$$\vec{v} \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos \alpha \\ v_y(t) = -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

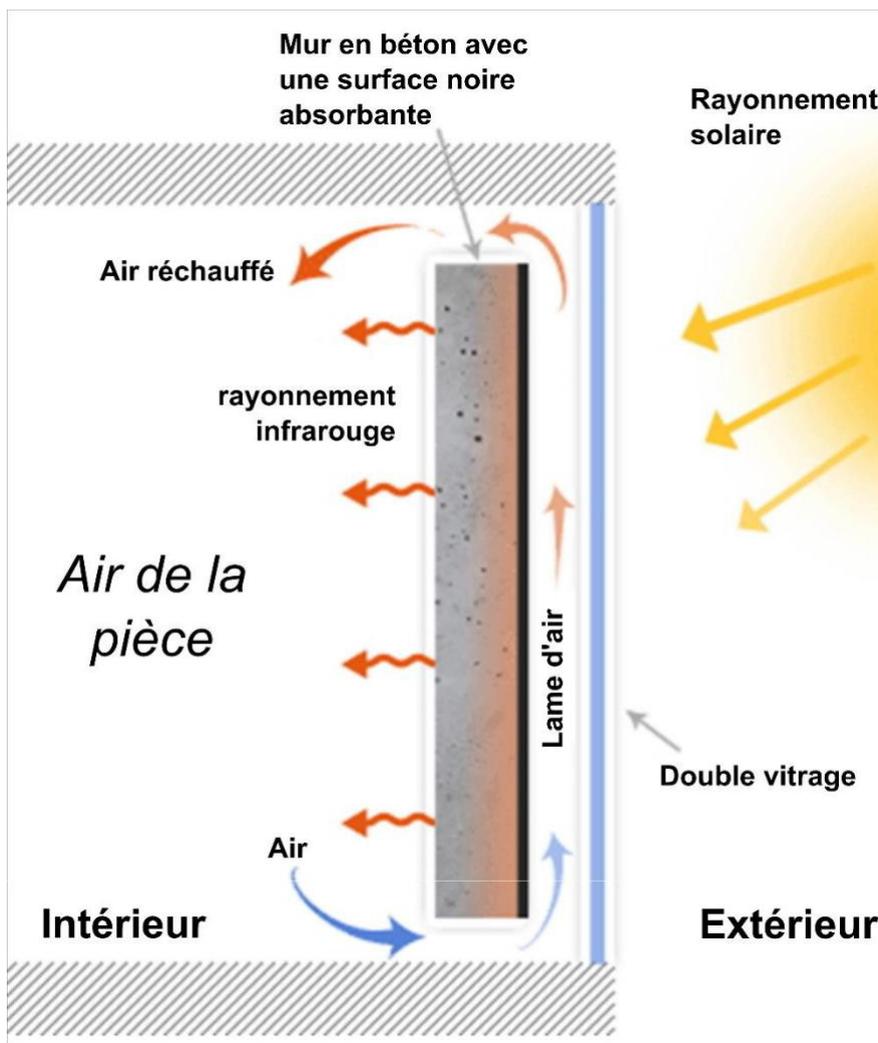
- Déterminer les équations horaires donnant les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ du centre de masse.
- L'impact de la balle sur la table a lieu à l'instant t_i valant approximativement $0,55 \text{ s}$. Montrer que la balle tombe sur la table.
- Calculer la valeur de la tension U délivrée par un capteur situé au point d'impact.

EXERCICE 3: LE MUR TROMBE-MICHEL (5 POINTS)

La volonté d'économiser l'énergie utilisée pour chauffer les bâtiments privés ou publics amène les particuliers, les entreprises ou les pouvoirs publics à opter pour des murs Trombe-Michel, du nom de ses deux inventeurs.

Un mur Trombe-Michel est constitué essentiellement d'un double vitrage extérieur exposé aux rayonnements solaires, derrière lequel se trouve à environ une dizaine de centimètres un épais mur de béton qui s'intègre à la façade sud du bâtiment dont la surface extérieure est peinte en noir mat. En outre, de l'air circule entre le double vitrage et le mur peint en noir.

Principe du mur Trombe-Michel



Source : ecosources.info - Portail des énergies renouvelables et de l'écoconstruction

Les professionnels du bâtiment mettent en avant trois avantages au mur Trombe-Michel : l'amélioration de l'isolation de la façade, le préchauffage de la lame d'air qui circule entre le mur en béton et le double vitrage, la restitution nocturne des apports énergétiques emmagasinés le jour.

Données :

	Largeur L (m)	Hauteur H (m)	Épaisseur e (cm)	Conductivité thermique λ ($W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$)	Résistance thermique R ($K \cdot W^{-1}$)
Double vitrage	3,0	2,5	2,4		0,13
Lame d'air	3,0	2,5	9,0	0,0262	0,46
Mur de béton	3,0	2,5	40	1,75	

A. Les trois modes de transfert thermique

1. Citer les trois modes de transfert thermique.
2. Citer, pour chacun de ces modes de transfert thermique, un exemple mis en œuvre dans un mur Trombe-Michel.

B. Isolation de la façade

La résistance thermique notée R d'une paroi s'exprime en $K \cdot W^{-1}$. Elle est modélisée par l'expression $R = \frac{e}{\lambda \times S}$ avec S la surface de la paroi, e son épaisseur et λ la conductivité thermique du matériau.

La résistance thermique d'une paroi constituée de plusieurs couches successives de matériaux différents est la somme des résistances thermiques de chaque couche.

Pour le mur Trombe-Michel, la résistance thermique de l'ensemble {mur + double vitrage} sans lame d'air est notée R_1 et la résistance de l'ensemble {mur + double vitrage + lame d'air} est notée R_2 .

On considère que la température extérieure est de $5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ et que la température à l'intérieur de la pièce est de $19 \text{ }^\circ\text{C}$.

Expression du flux thermique pour un écart de température ΔT : $\Phi = \frac{\Delta T}{R}$

3. Calculer les valeurs des flux thermiques Φ_1 et Φ_2 correspondant respectivement aux résistances R_1 et R_2 .
4. En exploitant les valeurs obtenues, conclure quant à l'efficacité de la lame d'air.

C. Chauffage de la pièce

Le mur Trombe-Michel sert à chauffer une pièce qui contient 30 m^3 d'air assimilé à un gaz parfait. Initialement la température de l'air a une valeur de $19,0 \text{ °C}$ et atteint finalement la valeur de $23,0 \text{ °C}$.

La variation d'énergie interne d'un gaz parfait, de capacité thermique C , pour une variation de température ΔT est exprimée par la relation : $\Delta U = C \times \Delta T$. On donne la valeur de la capacité thermique de l'air contenu dans la pièce : $C = 39,2 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}$.

5. Calculer la variation de l'énergie interne de l'air contenu dans la pièce.

Le flux d'énergie solaire F_{solaire} reçu par le double vitrage est estimé à 675 W . On estime à 25% le pourcentage de l'énergie solaire transférée à l'air de la pièce.

6. Déterminer la valeur de la durée nécessaire au réchauffement de l'air de la pièce de 19 °C à 23 °C .

D. Flux thermique nocturne

La nuit, le mur en béton restitue de la chaleur à l'air de la pièce en émettant un flux thermique total de l'ordre de $4\,000 \text{ W}$.

On considère que le mur en béton est à une température constante T_m de 25 °C et l'air de la pièce à une température constante T de 19 °C .

Le flux thermique de convection Φ_c s'exprime en fonction de la surface S d'échange, de la différence de température ($T_m - T$) et du coefficient de transfert thermique h dont la valeur est $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

7. Choisir, en justifiant, parmi les trois expressions suivantes celle qui correspond à l'expression du flux thermique de convection. On analysera pour cela les unités.

$$\Phi_c = \frac{h}{S} \cdot (T_m - T)$$

$$\Phi_c = h \cdot S \cdot (T_m - T)$$

$$\Phi_c = \frac{h \cdot S}{(T_m - T)}$$

8. En conduisant un raisonnement argumenté, déterminer si, la nuit, le mur restitue la chaleur à l'air de la pièce uniquement selon un mode convectif. Commenter.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE 1: L'ACIDE FORMIQUE

Évolution du pH en fonction du volume versé d'hydroxyde de sodium V_B

