

CONCOURS D'ADMISSION
A
L'ECOLE DE L'AIR

CONCOURS PC/PSI
OPTION PC

COMPOSITION DE SCIENCES
PHYSIQUES ET DE CHIMIE

Durée : 4 heures
Coefficient : 14

L'attention des candidats est attirée sur le fait
que la notation tiendra compte du soin et de la
rigueur apportés dans le travail.

***Nota : Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler
une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra
poursuivre sa composition en expliquant les raisons des
initiatives qu'il a été amené à prendre.***

Physique : A propos des phénomènes de diffusions.

Ce problème traite de divers aspects des phénomènes de diffusion de particules et de diffusion thermique.

I – Diffusion de particules.

On considère dans cette partie un gaz dilué à l'équilibre thermodynamique à la température T .

I – 1 Libre parcours moyen L .

On assimile chaque molécule à une sphère de diamètre d . On se propose d'effectuer un calcul sommaire de la distance moyenne L , distance parcourue par une molécule entre deux chocs successifs avec d'autres molécules du gaz.

I – 1 – a. On suppose immobiles toutes les molécules sauf une ; celle-ci est animée de la vitesse constante $\vec{v}_0$. Déterminer le volume ΔV dans lequel doit se trouver le centre d'une autre molécule pour qu'une collision ait lieu dans l'intervalle de temps Δt .

I – 1 – b. En déduire L en fonction de d et du nombre de molécules n_0 par unité de volume (concentration particulaire) dans le gaz.

I – 1 – c. Un calcul plus correct donne : $L = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{n_0 \cdot \pi \cdot d^2}$. Pourquoi trouve-t-on

au I-1-b. un résultat plus grand ?

I – 1 – d. Application numérique : pour l'hélium, on a déterminé $L = 32 \mu\text{m}$ dans un gaz à $T = 0,8 \text{ K}$ où régnait la pression $p_a = 1,2 \text{ Pa}$. Déterminer d avec I – 1 – c. On donne $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$.

I – 2 Diffusion.

Pour accéder à L on peut étudier dans le gaz le phénomène de diffusion. On suppose que certains constituants du gaz, en proportion très faible, peuvent être identifiés (par exemple à la suite d'un marquage radioactif) mais que leur interaction avec les autres molécules n'est pas modifiée.

A l'instant pris comme origine de l'étude, la distribution de ces molécules marquées est non uniforme : elle est repérée par la concentration particulaire $n(x,t)$ (nombre de particules par unité de volume).

I – 2 – a. On se place dans le cadre du modèle sommaire suivant : la distribution des vitesses est isotrope, et le module de la vitesse moyenne suivant x (vitesse quadratique moyenne dans le gaz) est notée : v_c .

Montrer que la densité du flux, $\vec{j} = j(x,t) \cdot \vec{e}_x$, des constituants marqués à travers un plan perpendiculaire à Ox se ramène à : $\vec{j}_x(x,t) = \frac{1}{6} \cdot v_c \cdot [n(x-L,t) - n(x+L,t)] \cdot \vec{e}_x$.

I – 2 – b. Rappeler la loi de Fick. Définir et donner la dimension physique de chacun des termes qui intervient dans cette loi.

En déduire l'expression du coefficient de diffusion D pour le modèle adopté.

I – 3 Influence du champ de pesanteur sur la diffusion : la sédimentation.

Dans cette partie (I – 3), on s'intéresse à des suspensions de petites particules au sein d'un fluide en équilibre et à la façon dont elles s'y répartissent. On considérera dans tout le problème que les suspensions considérées sont diluées, de sorte que les particules en suspension n'interagissent pas entre elles.

On considère un tube cylindrique d'axe vertical de section S , de hauteur h et contenant un liquide, de l'eau par exemple. Ce liquide contient N particules en suspension, de masse m chacune. On note ρ_p la masse volumique des particules, ρ celle du liquide, et on suppose que $\rho_p > \rho$. Dans l'état initial du système, le mélange a été rendu homogène par agitation.

I – 3 – a. Chaque particule est soumise à son poids, à la poussée d'Archimède due au liquide, et à une force de frottement visqueux : $-6\pi\eta R\vec{v}$, lorsque la particule est animée d'une vitesse $\vec{v}$, où η est la viscosité dynamique du liquide et R le rayon d'une particule (formule de Stokes).

Etablir l'équation différentielle à laquelle satisfait la vitesse $\vec{v}$ des particules.

I – 3 – b. On choisira un axe Ox vertical ascendant, tel que $x = 0$ au niveau du fond du tube.

- Montrez que la composante v_x de $\vec{v}$ tend vers une limite v_L que l'on calculera en fonction de la "masse apparente" $m^* = m(\frac{\rho}{\rho_p} - 1)$ des particules dans le liquide, afin d'en alléger l'écriture.
- Vers quelles limites tendent les composantes v_y et v_z de $\vec{v}$?

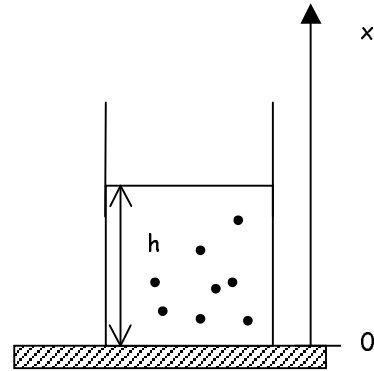
I – 3 – c. On suppose que la vitesse limite v_L est atteinte très rapidement. On note toujours $n(x,t)$ la concentration particulaire en un point de cote x . Calculer la densité de flux de particules, $j_1(x,t)$, résultant du mouvement ci-dessus des particules.

I – 3 – d. Du fait de ce mouvement, il se crée dans le liquide un gradient de concentration particulaire, donnant lieu à un phénomène de diffusion. Calculer la densité de flux de particules, $j_2(x,t)$ due à la diffusion (on appellera D le coefficient de diffusion des particules considérées dans le liquide).

I – 3 – e. Au bout d'un temps plus ou moins long, un équilibre (dit équilibre de sédimentation) finit par s'établir. A quelle équation différentielle obéit alors la concentration particulaire $n(x,t)$?

I – 3 – f. Montrer que l'équilibre de sédimentation est caractérisé par une concentration particulaire de la forme : $n(x) = A \cdot \exp(-\frac{x}{H})$ (1).

Calculer A et H en fonction de N , S , h , D , η , R , m^* et de l'intensité g du champ de pesanteur. Représenter graphiquement la variation de $n(x)$ avec x dans le tube considéré.



I – 4 Relation d'Einstein relatif au mouvement brownien .

I – 4 – a. L'expression obtenue dans la partie I - 3 pour la concentration des particules en fonction de la cote x obéit aussi à la loi de répartition de Boltzmann. Justifier cette affirmation, et en déduire la relation suivante entre la température thermodynamique T , la constante de Boltzmann k , et les quantités intervenant dans le calcul du facteur H de l'expression (1) :

$$D = \frac{k \cdot T}{6\pi\eta R}$$

I – 4 – b. La quantité H est appelée échelle de hauteur. Justifier ce terme en lui donnant une signification physique.

I – 4 – c. Evaluer H pour deux molécules de même masse volumique $\rho_p = 1,3 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et de masses molaires différentes : urée ($M_{\text{urée}} = 60 \text{ g.mol}^{-1}$, $D_{\text{urée}} = 10^{-9} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$) et hémoglobine ($M_{\text{hémo.}} = 68000 \text{ g.mol}^{-1}$, $D_{\text{hémo.}} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$), dans l'eau à 20 °C. Conclusion.

Données : Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mole}^{-1}$
 Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
 Masse volumique de l'eau à 20 °C : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
 Viscosité dynamique de l'eau : $\eta = 10^{-3} \text{ Pl.}$

I – 5 Diffusion dans un plasma

On considère un faisceau d'électrons de densité de flux $\vec{j}_0$ entrant en collision avec des atomes neutres, de concentration particulaire n_a , dans une paroi d'épaisseur dx et de section transversale S (cf. fig. 1).

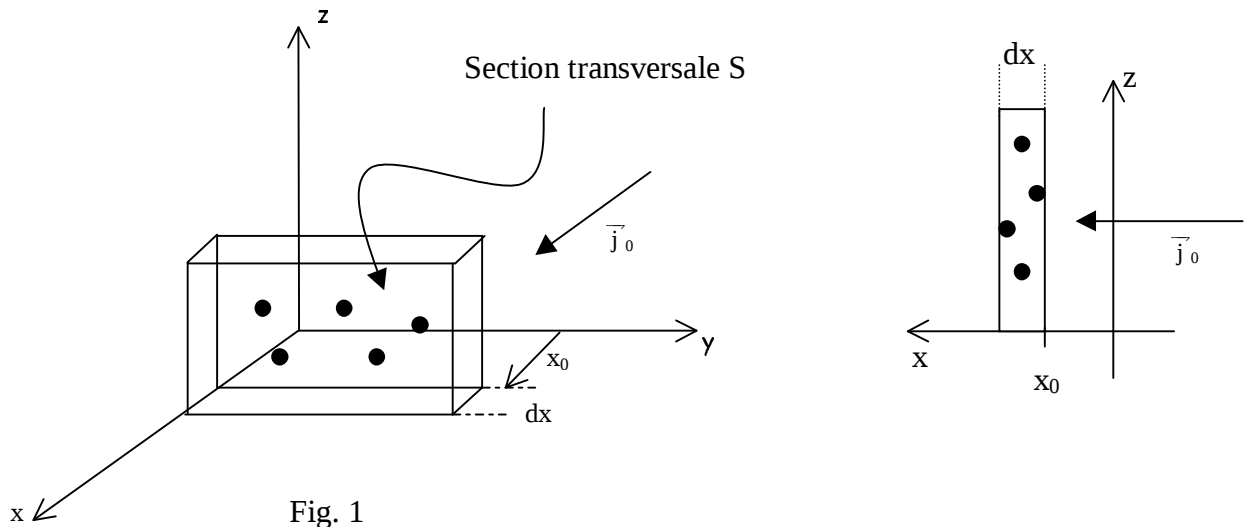


Fig. 1

Chaque atome peut être assimilé à une sphère dure de section s .

I – 5 – a. Déterminer le nombre N_A d'atomes présents dans la paroi.

I – 5 – b. Quelle est la proportion de la paroi de surface S occupée par des atomes. On notera P_R cette proportion et on l'exprimera en fonction de N_A , s et S .

I – 5 – c. En traduisant la conservation des électrons entre l'entrée et la sortie de la paroi, établir une équation différentielle reliant $\frac{d\vec{j}}{dx}$, $\vec{j}(x)$, n_A , s . les électrons incidents possèdent une densité de flux $\vec{j}_0$. $\vec{j}(x)$ est la densité de flux d'électrons à l'intérieur de la paroi.

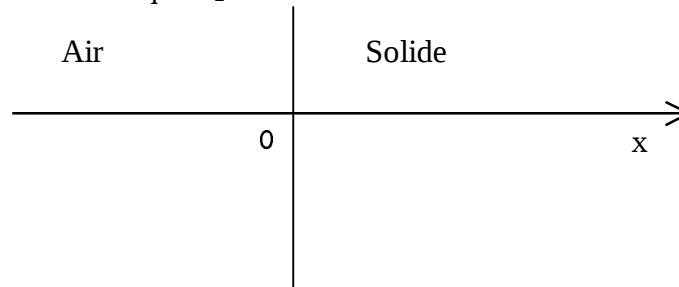
I – 5 – d. En déduire une loi de variation $\vec{j}(x)$ de la densité de flux d'électrons au sein de la paroi.

I – 5 – e. Déterminer la profondeur de pénétration : L_m , caractéristique de l'évolution de la fonction $j(x)$.

Proposer une signification physique pour L_m et déterminer le temps moyen T_m entre deux collisions pour des électrons de vitesse v . En déduire une fréquence moyenne de collision f_m .

II – Diffusion thermique ; Ondes thermiques dans l'air en contact avec une surface chauffante.

Considérons deux milieux homogènes, isotropes, semi-infinis. Le milieu (1), de l'air, remplit le demi-espace des $x < 0$. Il est caractérisé par sa capacité thermique massique c_1 , sa masse volumique ρ_1 et sa conductivité thermique λ_1 . Le milieu (2), un solide, occupe le demi-espace défini par $x > 0$. Ce milieu est caractérisé par sa capacité thermique massique c_2 , sa masse volumique ρ_2 et sa conductivité thermique λ_2 .



On rappelle la loi de Fourier relative à la diffusion de la chaleur : $\vec{j}_{th}(x,t) = -\lambda \cdot \vec{\text{grad}}T(x,t)$.

II – 1 En quelques mots, faire une interprétation physique de la loi de Fourier.

II – 2 A partir d'un bilan d'énergie associé à une tranche d'air d'épaisseur dx , comprise entre les abscisses x et $x + dx$, établir l'équation de diffusion de la chaleur :

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}.$$

On exprimera a_1 , la diffusivité, en fonction des caractéristiques du milieu (1).

Donner la dimension physique de a_1 .

On impose une variation temporelle de la température de surface du solide, soit en $x = 0$.

Cette température varie suivant la loi ci-après : $T_2(t) = T_0 + \theta_2 \exp(i\omega t)$. T_0 est la température moyenne ambiante, θ_2 est réel.

On cherche l'évolution temporelle et spatiale de la température de l'air $T_1(x,t)$, pour un régime sinusoïdalement établi. La température T_1 est donc la somme d'une solution correspondant au régime stationnaire (indépendant du temps) et d'une solution harmonique de pulsation ω , de la forme de $\theta_1(x) \exp(i\omega t)$. $\theta_1(x)$ est complexe.

II – 3 Montrer que la solution de l'équation de diffusion peut se mettre sous la forme : $T_1(x,t) = \left(A_1 \exp\left((1+i)\frac{x}{\delta_1}\right) + B_1 \exp\left(-(1+i)\frac{x}{\delta_1}\right) \right) \exp(i\omega t) + C_1 x + D_1$. On exprimera δ_1 en fonction des caractéristiques du milieu (1).

II – 4 En explicitant très précisément les conditions aux limites du problème, calculer les différentes constantes A_1 , B_1 , C_1 , D_1 .

II – 5 Que représente la quantité δ_1 . Faire une illustration graphique.

II – 6 On souhaite isoler des variations jour nuit un espace donné. On utilise comme matériau isolant de la sciure de bois dont la diffusivité thermique $a_{\text{bois}} = 143 \cdot 10^{-9}$ S.I. Quelle épaisseur faut-il donner aux parois contenant la sciure pour atténuer d'un facteur 10 l'amplitude des variations de température ?

Fin du problème de physique.

Chimie : A propos de l'aromaticité.

- Le benzène est un hydrocarbure de formule brute C_6H_6 , liquide à la température ordinaire. Il a été isolé en 1825 par M. Faraday dans le gaz d'éclairage. En 1834 E. Mitscherlich l'a préparé en chauffant de l'acide benzoïque en présence de chaux et lui a donné son nom.
- Le benzène est le composé le plus connu de la famille des composés aromatiques. A l'origine le terme aromatique désignait une famille de substances possédant une odeur caractéristique.

I – Notion d'aromaticité.

I – 1 Formule de Kékulé.

Plusieurs formules ont été proposées pour rendre compte de la structure du benzène. En 1865, Kékulé proposa une formule cyclique formée par l'alternance de liaisons simples et doubles. Dans cette optique, le benzène est le cyclohexa-1,3,5-triène. Les doubles liaisons sont localisées.

I – 1 – 1. Dessiner cette structure.

I – 1 – 2. Si on considère la formule de Kékulé (modèle de doubles liaisons localisées), combien de dérivés dibromés du benzène (où les deux bromes sont portés par des carbones adjacents) devraient-ils exister ?

En fait, un seul composé existe.

I – 1 – 3. Expliquer l'existence d'un unique composé dibromé du benzène par l'existence de formes mésomères. Interpréter en outre, que dans le benzène toutes les liaisons carbone-carbone soient égales à 140 pm, longueur intermédiaire entre celle d'une liaison simple (154 pm) et une liaison double (134 pm).

Les composés aromatiques possèdent une stabilisation exceptionnelle. Se pose alors le problème de la reconnaissance des composés aromatiques. Il s'agit d'élaborer des critères d'aromaticité.

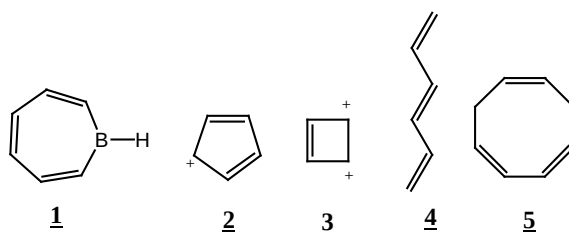
I – 2 Critère d'aromaticité.

I – 2 – 1 Règle de Hückel.

La règle de Hückel est un critère d'aromaticité.

a – Enoncer la règle de Hückel ?

b – En utilisant cette règle, dire si les composés numérotés de 1 à 5 sont aromatiques ?



La règle de Hückel est tout de même limitée, elle ne permet pas notamment de prédire si des composés polycycliques sont aromatiques. D'autres critères doivent donc être trouvés.

I – 2 – 2 Stabilisation énergétique :

Les composés aromatiques se manifestent par une importante stabilisation.

a – Mise en évidence thermodynamique.

L'enthalpie standard d'hydrogénation du cyclohexène est égale à -120 kJ.mol^{-1} . Celle du cyclohexa-1,3-diène est égale à -230 kJ.mol^{-1} .

α – Ecrire l'équation bilan de ces réactions d'hydrogénation. Quel est le produit commun des deux réactions.

β – Comment expliquer que le cyclohexa-1,3-diène dégage moins d'énergie que l'énergie d'hydrogénation de deux équivalents de cyclohexène ?

γ – L'hydrogénation du benzène en cyclohexane vaut $-206,3 \text{ kJ.mol}^{-1}$. Peut-on expliquer la stabilisation du benzène uniquement par la délocalisation du système π .

b – Détermination de l'aromaticité d'un système.

On donne les énergies des orbitales moléculaires des molécules : benzène, hexa-1,3,5-triène, cyclobutadiène et butadiène.

Molécules	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Cyclobutadiène	$\alpha + 2\beta$	α	α	$\alpha - 2\beta$		
Hexa-1,3,5-triène	$\alpha + 1,8\beta$	$\alpha + 1,25\beta$	$\alpha + 0,45\beta$	$\alpha - 0,45\beta$	$\alpha - 1,25\beta$	$\alpha - 1,8\beta$
Benzène	$\alpha + 2\beta$	$\alpha + \beta$	$\alpha + \beta$	$\alpha - \beta$	$\alpha - \beta$	$\alpha - \beta$
Butadiène	$\alpha + 1,62\beta$	$\alpha + 0,62\beta$	$\alpha - 0,62\beta$	$\alpha - 1,62\beta$		

α – Pour les quatre molécules, calculer l'énergie totale ϵ_π du système π d'électrons dans l'état fondamental en fonction de α et β .

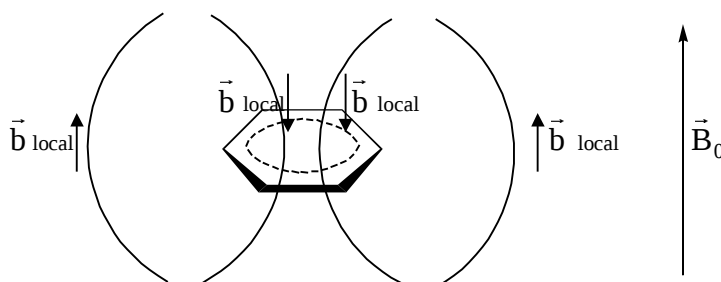
β – On appelle énergie de conjugaison (ou de délocalisation), la différence d'énergie $\Delta\epsilon_{\text{conj}} = \epsilon_\pi - \epsilon'_\pi$. Conclure en ce qui concerne l'effet de la conjugaison sur la stabilité des molécules.

γ – On appelle énergie de résonance la différence $\Delta\epsilon_{\text{rés}} = \epsilon_\pi - \epsilon''_\pi$ entre l'énergie totale ϵ_π du système dans son état fondamental et l'énergie totale ϵ''_π d'un système conjugué linéaire comportant le même nombre de carbones. Hückel propose de considérer le système cyclique comme aromatique si $\Delta\epsilon_{\text{rés}} < 0$, de non aromatique si $\Delta\epsilon_{\text{rés}} = 0$ et enfin d'antiaromatique si $\Delta\epsilon_{\text{rés}} > 0$.

Sur ces considérations, discuter du caractère aromatique d'après la définition de Hückel sur le benzène et le cyclobutadiène.

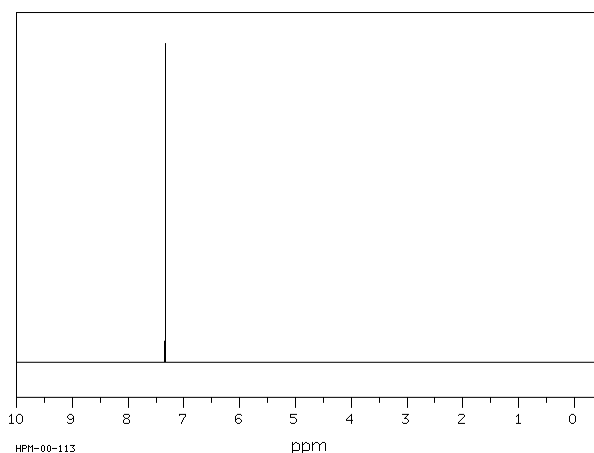
I – 3 Spectroscopie RMN.

La spectroscopie RMN s'avère être un autre critère d'aromaticité. Le système π d'un système aromatique, étant polarisable, le champ magnétique $\vec{B}_0$ provoque un courant d'électrons autour du cycle comme il le ferait dans une spire conductrice. Ce courant de cycle crée en retour un champ $\vec{b}_{\text{local}}$ qui augmente le champ auquel sont soumis les protons extérieurs et diminue celui auquel sont soumis les protons intérieurs (voir graphe ci-dessous) :

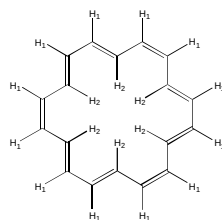


Il s'ensuit une diminution importante du déplacement chimique des hydrogènes intérieurs, et une augmentation des déplacements chimiques des hydrogènes extérieurs.

I – 3 – 1 Le spectre RMN du benzène est donné ci-dessous. Expliquer pourquoi la spectroscopie RMN permet de prévoir l'aromaticité du benzène.



I – 3 – 2 Le [18]-annulène est le composé ci-dessous :



Son spectre RMN du ^1H montre des signaux à 7 ppm et un autre à $-2,5$ ppm. Au vue de ces données spectroscopiques, la molécule de [18]-annulène est-elle aromatique ?

II – Etude de la substitution aromatique électrophile : Etude d'un protocole opératoire d'une réaction d'acylation de Friedel et Craft :

La 4'-Méthylacétophénone possède des propriétés olfactives qui la font utiliser dans les parfums à dominante de lilas où elle est très appréciée pour sa rémanence. On l'obtient par acylation du toluène.

Le protocole de la réaction d'acylation est le suivant :

- Dans une hotte bien ventilée, munir un ballon tricol de 100 ml, contenant un agitateur magnétique, d'une ampoule à brome à tubulure latérale de compensation de pression et d'un réfrigérant.
- Relier le sommet du réfrigérant à un bulleur et la sortie du bulleur à une pipette dont la pointe est placée juste en dessous de la surface libre d'une solution de soude 1 mol.L^{-1} (100 ml prélevés à la pipette jaugée) placée dans un erlenmeyer à col large.
- Placer 38 ml de toluène anhydre dans le ballon, puis, à l'aide d'un entonnoir à solide, y introduire en une fois 22,5 g (169 mmol) de chlorure d'aluminium anhydre et fermer le troisième col à l'aide d'un bouchon en verre.
- A l'aide d'une pipette graduée de 10 ml et d'une poire d'aspiration, prélever 7,10 ml d'anhydride éthanóïque et les placer dans l'ampoule à brome. Fermer le à l'aide d'un bouchon en verre.
- Installer une plaque chauffante et un bain d'huile sur un élévateur, immerger le ballon dans le bain d'huile et régler l'agitation à une vitesse aussi élevée que possible, puis additionner l'anhydride éthanóïque goutte à goutte en 15 à 20 min. Durant cette addition un dégagement gazeux est nettement visible. Vers la fin de l'addition, chauffer le bain d'huile et le maintenir entre 90 et 100°C. À la fin de l'addition, y plonger le ballon et l'y maintenir pendant 30 min, ou jusqu'à ce que le dégagement gazeux ait presque cessé.
- Couper le chauffage, descendre le bain d'huile et essuyer le thermomètre, puis le fond du ballon à l'aide de papier essuie-tout.
- Refroidir le tricol dans une capsule d'eau glacée. Pendant ce temps, placer 45 mL d'acide chlorhydrique concentré dans une éprouvette de 100 ml et compléter à 90 ml avec de la glace. Verser le tout dans un erlenmeyer de 250 ml et y ajouter progressivement, sous agitation, le contenu du ballon (attention : l'hydrolyse est très exothermique).
- Verser le contenu de l'erlenmeyer dans une ampoule à décanter de 250 ml. Décanter la phase aqueuse et la collecter dans ce même erlenmeyer. Laver successivement la phase organique avec de la soude aqueuse à 10% (jusqu'à ce que la phase aqueuse reste alcaline), d'eau (une fois) et avec une solution aqueuse saturée de chlorure d'ammonium jusqu'à pH = 7. Ajouter à la phase organique du sulfate de sodium anhydre, puis filtrer.
- Reprendre l'ensemble des phases aqueuses dans l'ampoule à décanter et les extraire une fois avec 10 ml d'éther. Décanter et ajouter la solution étherée à la solution toluénique.
- Après 10 min de séchage, verser la phase organique dans un ballon de 100 ml préalablement pesé. Rincer deux fois le sulfate de sodium avec 3 ml d'éther et éliminer les solvants à l'évaporateur rotatif sous pression réduite à l'aide d'un bain-marie à 70°C.
- On obtient une masse de produit brut de réaction égale à 9,00 g.

II – 1 Etude de la réaction

II – 1 – 1 Préciser la régiosélectivité de cette réaction.

Quels sont les produits susceptibles de se former ?

Quel est le produit majoritaire ? On justifiera les réponses.

II – 1 – 2 Ecrire le bilan de la réaction.

II – 1 – 3 Proposer un mécanisme réactionnel pour cette réaction d'acylation de Friedel et Craft.

II – 1 – 4 La 4'-Méthylacétophénone est elle un composé aromatique. Justifier.

II – 1 – 5 Quel est le rôle de AlCl_3 . Préciser le nombre d'équivalent par rapport au réactif.

II – 2 Etude du protocole.

II – 2 – 1 Faire un schéma annoté du dispositif expérimental.

II – 2 – 2 Quelle est la nature du gaz qui s'échappe ?

II – 2 – 3 Pourquoi pratique-t-on une hydrolyse acide ?

II – 2 – 4 Durant l'extraction, quelle est la phase surnageante et la phase du dessous ? Dans quelle phase, le produit synthétisé est-il le plus soluble ?

II – 2 – 5 Pourquoi lave-t-on deux fois la phase organique avec une solution de soude ? Puis avec de l'eau ? Et enfin avec une solution de NH_4Cl ?

II – 2 – 6 Quel est le rôle du sulfate de sodium anhydre ?

II – 3 Calcul du rendement.

On se propose de calculer le rendement de deux façons :

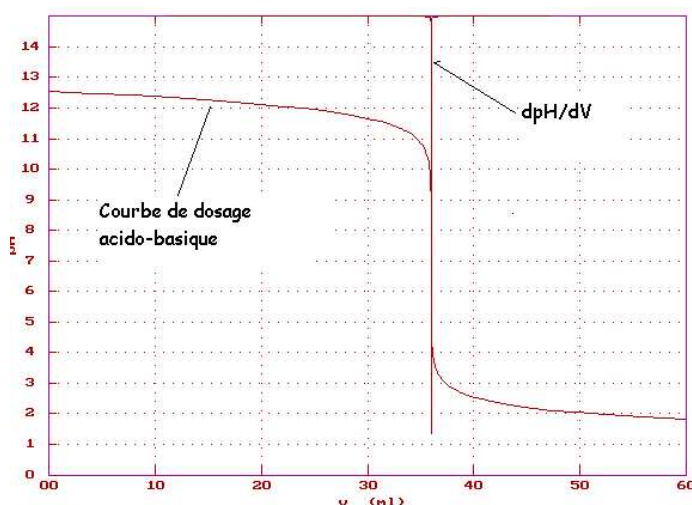
- la première par la masse obtenue de produit
- la seconde par le dosage acido-basique de la solution contenue dans le piège à acide chlorhydrique.

II – 3 – 1 : 1^{ère} méthode :

a - Calculer les quantités de matière de toluène et d'anhydride éthanoïque. Calculer la quantité de produit obtenue. En déduire le rendement de la réaction.

II – 3 – 2 : 2^{ème} méthode : (Vérification)

On suppose que la totalité du gaz dégagé a été neutralisé par la soude. On prélève 10 mL de la solution contenue dans le piège que l'on verse dans une fiole de 100 mL. Puis on complète par de l'eau distillée la fiole de 100 mL. On dose les 100 mL de cette solution par une solution d'acide chlorhydrique de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Un suivi pH-métrique est réalisé. On obtient la courbe ci-contre :



a - Préciser le dispositif expérimental (vous préciserez notamment la nature des électrodes).

b - Quelles sont les méthodes qui permettent de déterminer le volume équivalent ? En déduire V_e .

c - Vérifier le rendement de la réaction.

II – 4 Purification

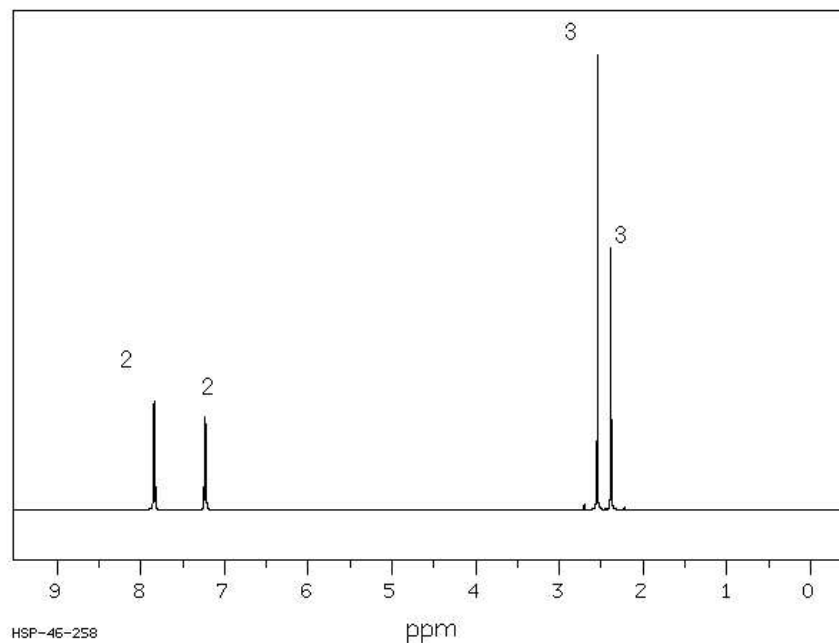
II – 4 – 1 Le produit brut est purifié par distillation fractionnée sous pression réduite. Donner le schéma d'un montage de distillation sous vide.

II – 4 – 2 Expliquer le principe de la distillation fractionnée.

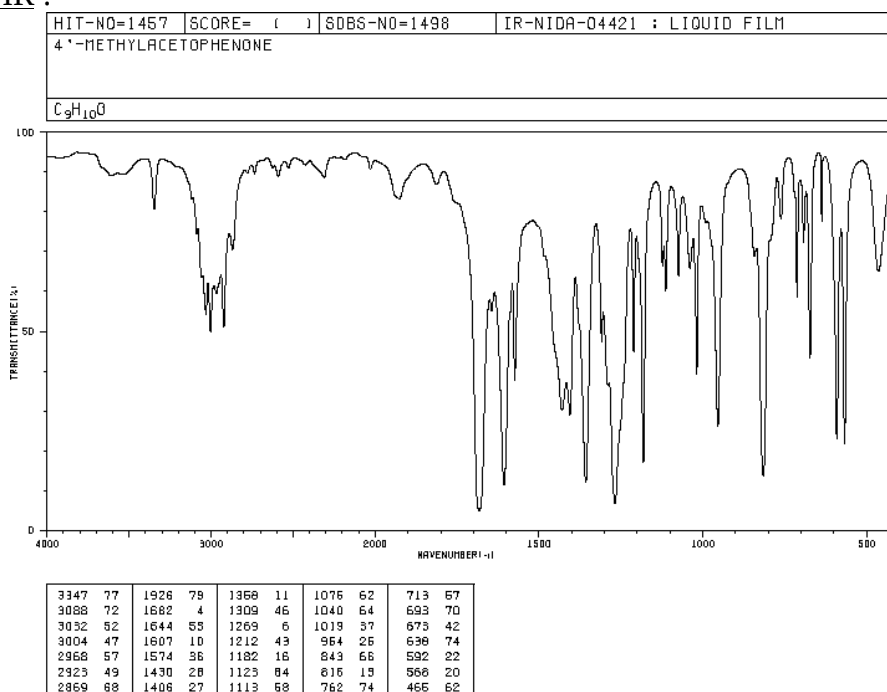
II – 5 Caractérisation

On réalise le spectre infra-rouge et le spectre RMN du produit purifié. Interpréter les deux spectres.

■ Spectre RMN :



■ Spectre IR :



Annexes :

Réactifs	Masse molaire (g.mol ⁻¹)	Densité	T _{fusion} à P ⁰ = 1 bar (°C)	T _{ébullition} à P ⁰ = 1 bar (°C)
Toluène	92,14	0,866	-93	111
Anhydride éthanoïque	102,09	1,08	-73	138-140
Clorure d'aluminium	133,34	-		

Masse molaire en g.mol⁻¹ : M(O) = 16, M(C) = 12, M(H) = 1.

Spectroscopie Infra-Rouge

Table des nombres d'onde des vibration de valence et de déformation

Liaison	Nature	Nombre d'onde cm^{-1}	Intensité
O-H alcool libre	élongation	3580-3670	F, large
O-H alcool lié	élongation	3200-3400	F, large
N-H amine	élongation	3100-3500	m
C-H (AX_2)	élongation	3300-3310	
C-H (AX_3)	élongation	3000-3100	m ou f
C-H aromatique	élongation	3030-3080	m
C-H (AX_4)	élongation	2800-3000	m
C-H aldéhyde	élongation	2750-2900	F
O-H acide carboxylique	élongation	2500-3200	M
$\text{C}\equiv\text{C}$	élongation	2100-2250	F à m; large
$\text{C}=\text{O}$ (anhydride)	élongation	1700-1840	F ou m
$\text{C}=\text{O}$ (chlorure d'acyle)	élongation	1770-1820	F ; 2 bandes
$\text{C}=\text{O}$ (ester)	élongation	1700-1740	F
$\text{C}=\text{O}$ (aldéhyde et cétone)	élongation	1650-1730	F
		(abaissement de 20 à 30 cm^{-1} si conjugaison=	F
$\text{C}=\text{O}$ (acide)	élongation	1680-1710	F
$\text{C}=\text{C}$	élongation	1625-1685	m
$\text{C}=\text{C}$ aromatique	élongation	1450-1600	(3 ou 4 bandes)
$\text{N}=\text{O}$	élongation	1510-1580 et 1325-1365	F ; 2 bandes
N-H amine ou amide	déformation	1560-1640	F ou m
			F: fort, m : moyen; f: faible

Spectroscopie RMN	
-------------------	--

Déplacements chimiques moyens de quelques espèces de protons (δ est exprimé en ppm par rapport au TMS pris comme référence)

R est un radical aliphatique saturé ; Ar est un radical aromatique.

Protons CH ₃	δ	Protons CH ₂	δ	Protons CH	δ
Lié à un C AX₃ :		Lié à un C AX₃ :		Lié à un C AX₃ :	
CH ₃ -C	0,9	CH ₂ -C	1,3	CH-C	1,5
CH ₃ -C-NH ₂ (ou NR ₂)	1,15	CH ₂ -C-NH ₂ (ou NR ₂)	1,3	CH-C-OH(ou OR)	1,6-2
CH ₃ -C-Ar	1,25	CH ₂ -C-Ar	1,6	CH-C-Cl	1,6
CH ₃ -C-OH(ou OR)	1,15-1,3	CH ₂ -C-OH(ou OR)	1,8		
En α d'une insaturation:		En α d'une insaturation:		En α d'une insaturation:	
CH ₃ -C=C	1,6	CH ₂ -C=C	2,1-2,3	CH-C=C	2,5
CH ₃ -CO-OR	2,0	CH ₂ -C≡C	2,6	CH-C≡N	2,7
CH ₃ -CO-OH	2,1	CH ₂ -CO-OR	2,2	CH-CO-OH	2,6
CH ₃ -CO-NH ₂ (ou NR ₂)	2-2,1	CH ₂ -CO-OH	2,35	CH-CO-R	2,5-2,7
CH ₃ -C=C-C=O	2,0	CH ₂ -CO-NH ₂ (ou NR ₂)	2,1-2,2	CH-Ar	3,0
CH ₃ -CO-R	2,1-2,2	CH ₂ -C=C-C=O	2,4	CH-CO-Ar	3,3
CH ₃ -Ar	2,3-2,4	CH ₂ -CO-R	2,4		
CH ₃ -CO-Ar	2,6	CH ₂ -Ar	2,7		
		CH ₂ -CO-Ar	2,9		
Lié à un hétéroatome		Lié à un hétéroatome		Lié à un hétéroatome	
CH ₃ -NH ₂ (ou NR ₂)	2,1-2,3	CH ₂ -NH ₂ (ou NR ₂)	2,5	CH-NH ₂ (ou NR ₂)	2,9
CH ₃ -NH-COR	2,8-2,9	CH ₂ -NH-COR	3,3	CH-NH-COR	3,8-4,1
CH ₃ -OR	3,3	CH ₂ -OR	3,4	CH-OR	3,7
CH ₃ -OH	3,4	CH ₂ -OH	3,6	CH-OH	3,9
CH ₃ -OCOR	3,7	CH ₂ -OCOR	4,2	CH-OCOR	4,8-5,1
CH ₃ -OAr	3,8	CH ₂ -Oar	4,0	CH-OAr	4,0
CH ₃ -NO ₂	4,3	CH ₂ -NO ₂	4,4	CH-NO ₂	4,5-4,7
Protons liés à un C insaturé:	δ	Protons portés par un hétéroatome. Leur position dépend considérablement du solvant et de la concentration.			
-C≡CH	1,8-3,1	OH			
-C=CH-	4,5-6,0	NH			
ArH	6,5-8,2	Alcool(ROH) :0,7-5,5			
	(benzène : 7,27)	Phénol(ArOH) :4,5-7,1			
RCH=O	9,5-10,0	Acide(R-CO-OH): 10,5-12,5			
ArCH=O	9,7-10,5	Amine aliphatique(RNH₂, RNH-) : 0,6-5,0			
		Amine aromatique(ArNH₂, ArNH-) : 2,9-4,7			
		Amides(-CO-NH₂, CO-NH-) : 6,0-8,5			

Fin du problème de chimie

Fin du sujet