

DS 1 2024-2025

Chimie organique 1^o année-Description de l'atome-Classification-Premier principe

I - SYNTHÈSE D'UN RADIOTRACEUR A BASE DE ^{11}C

(EXTRAIT CCINP 2022)

Données relatives au problème 1

Numéro atomique Z

B : 5 C : 6 N : 7 O : 8

Électronégativité dans l'échelle de Pauling

N : 3,04 O : 3,44

Tétrahydrofurane



Données Acide / Base

$\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$ ou $\text{R-NH}_3^+ / \text{R-NH}_2$: $\text{pK}_A \approx 9$

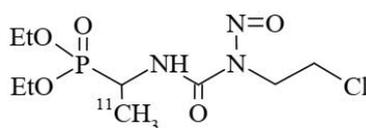
$\text{NH}_3 / \text{NH}_2^-$ ou $\text{R-NH}_2 / \text{R-NH}^-$: $\text{pK}_A \approx 34$

$\text{R-H} / \text{R}^-$: $\text{pK}_A \approx 40$

Composé 2 / Composé 3 : $\text{pK}_A \approx 16$

Dans cette partie, on étudie une synthèse de la [^{11}C]fotémustine, notée **1** (figure 1), analogue marqué au carbone 11 de la fotémustine, une molécule antitumorale développée dans les années 1990 par le laboratoire Servier (Lasne M.-C., Barré L., Piarraud A., Lalaoui K., Giroux B., Derlon J.-M., J. *Labelled Compds Radiopharm.*, **1991**, 30, 444-445) et actuellement utilisée dans le traitement du mélanome en tant que principe actif du médicament Muphoran[®].

Lors du développement de ce médicament, l'étude TEP du devenir de la fotémustine dans l'organisme humain a été rendue possible par la synthèse de son analogue marqué. Cette étude a par exemple mis en évidence la bonne captation de cette molécule par les tumeurs cérébrales humaines.



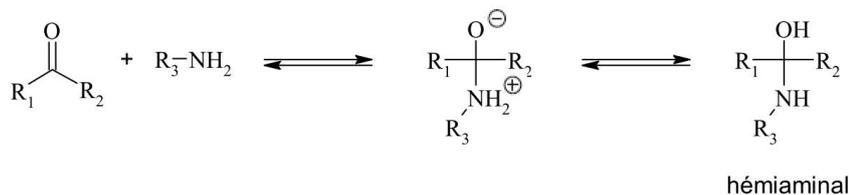
1

Figure 1 - [^{11}C]fotémustine 1

La transformation de **4** en **5** est l'inverse de celle permettant de passer d'une amine à une imine.

Cette transformation, réalisée sous contrôle thermodynamique, entre la cétone R_1COR_2 et l'amine primaire R_3NH_2 a lieu en deux séquences réactionnelles qui se succèdent. La première (**séquence 1**) forme un hémiaminal, la seconde (**séquence 2**) mène à l'imine (**schéma 2**).

Séquence 1



Séquence 2

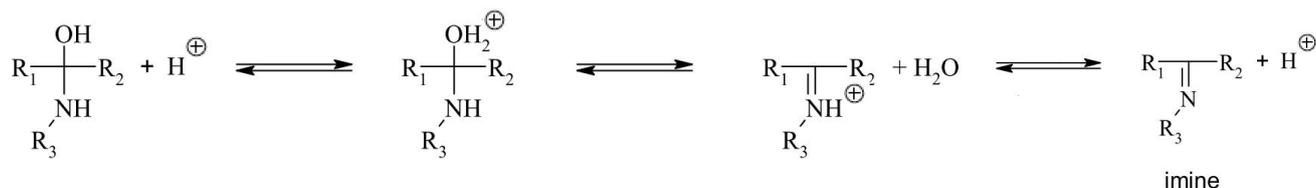


Schéma 2 - Transformation d'une amine en imine

Le schéma 2 est reproduit en annexe, qui sera rendu avec la copie, avec les réponses à la question Q3 suivante.

Q3. Dans la **séquence 1**, indiquer les rôles respectifs de la cétone R_1COR_2 et de l'amine primaire R_3NH_2 . Indiquer les sites impliqués dans chaque cas.

Dans la **séquence 2**, indiquer le rôle du milieu acide (H^+).

Dans chaque séquence, rajouter les doublets libres, les flèches mécanistiques, et le type de chaque étape.

Q4. Le mécanisme de la formation d'un hémiacétal à partir d'une cétone R_1COR_2 et d'un alcool primaire ROH (séquence que l'on nommera 1bis) est différent de celui associé à la **séquence 1**. Rappeler ce mécanisme, puis proposer une interprétation de la différence entre les **séquences 1** et **1bis**.

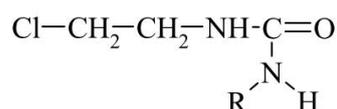
Q5. Proposer un montage expérimental permettant de réaliser la transformation de la cétone en imine avec un bon rendement.

Q6. Déterminer le sous-produit de la transformation de **4** en **5**. Dans la séquence réactionnelle menant à **1**, indiquer l'intérêt de partir d'une imine et non directement d'une amine.

Q7. En s'aidant des structures données dans le **schéma 3**, identifier le site électrophile du chloroéthylisocyanate $ClCH_2CH_2NCO$.



chloroéthylisocyanate



7

Schéma 3 - Structures du chloroéthylisocyanate $ClCH_2CH_2NCO$ et du constituant **7**

Q8. Proposer un mécanisme pour la réaction modélisant la transformation du nucléophile **6** (que l'on notera $R-NH_2$ par souci de simplification) en **7**, constituant dont la structure est donnée dans le **schéma 3**. En déduire l'intérêt de l'étape de transformation de **5** en **6**.

En milieu acide, le nitrite de sodium NaNO_2 donne naissance à l'ion nitrosonium NO^+ , un bon électrophile.

Q9. Représenter les 2 formes limites prépondérantes de l'ion nitrosonium et en déduire son hybride de résonance. Indiquer les sites électrophiles envisageables pour cet ion et le site électrophile actif. En déduire de la structure de **1**.

Pour contrôler la pureté du produit obtenu, on réalise une analyse par chromatographie sur couche mince (CCM).

À cet effet, on dépose une goutte de **1** dissoute dans un mélange dichlorométhane / méthanol (H_3COH) 90/10 en volume sur une plaque de silice (dépôt **A**). Sur la même plaque sont déposées à trois endroits différents respectivement une goutte de solution d'analogue non marqué du constituant **6** de référence (dépôt **B**), une goutte de solution d'analogue non marqué du constituant **7** de référence (dépôt **C**) et enfin une goutte de solution de fotémustine non marquée de référence (dépôt **D**). Une fois le développement achevé, on sèche la plaque et on relève les rapports frontaux des taches issues de chaque dépôt. Les résultats obtenus sont consignés dans le **tableau 1**.

Dépôt	Nombre de taches après développement	Rapport frontal R_f
A	1	0,70
B	1	0,45
C	1	0,56
D	1	0,70

Tableau 1 - Rapports frontaux obtenus en CCM

Q10. Représenter à l'échelle l'allure de la plaque CCM obtenue après élution ; on laissera 10 cm entre la ligne de dépôt et le front du solvant à la fin du développement.

Q11 . À l'aide des résultats obtenus par l'analyse CCM, conclure sur le déroulement de la synthèse de **1**.

II- LES RESSOURCES DE LA MER

Les richesses que recèlent les mers et océans sont encore loin d'être entièrement connues : parmi elles, on peut citer :

- des ressources inorganiques comme, le chlorure de sodium, les sulfures polymétalliques hydrothermaux (constitués de sulfures de métaux de base (fer, cuivre, zinc, plomb...) qui peuvent contenir des métaux précieux ou rares tels que l'argent, l'or, l'indium ou le germanium) les nodules polymétalliques (concrétions ferro-manganésifères qui se présentent sous forme de boules sombres de 5 à 10 cm de diamètre, constitués d'hydroxydes métalliques divers (hydroxyde de manganèse, de nickel, de cuivre, de cobalt...) en proportions variables),
- des ressources énergétiques (pétrole, gaz, énergies marines renouvelables)
- des ressources organiques parmi lesquelles de nombreuses biomolécules à usage thérapeutique produites par des organismes marins animaux ou végétaux.

Données et document :

Numéro atomique :

Élément i	N	O	In	I
Z(i)	7	8	49	53

Masse molaire :

Élément i	H	Na	Cl	I
M(i) / g·mol ⁻¹	1,0	23,0	35,5	126,9

Constante d'acidité :

Couple acido-basique	pK _a
CO ₂ , H ₂ O(aq) / HCO ₃ ⁻ (aq)	pK _{a3} = 6,35
HCO ₃ ⁻ (aq) / CO ₃ ²⁻ (aq)	pK _{a4} = 10,33

Longueur caractéristique de liaison :

Liaison	N-O	N=O
Longueur typique	l (N-O) = 143 pm	l (N=O) = 118 pm

Document 1. Découverte du diiode par Bernard Courtois à partir du varech (d'après Les constituants chimiques de la matière : Description des éléments chimiques de Marc Lefort (2003), édition Ellipses)

C'est en 1811 que le chimiste français Bernard Courtois découvrit le diiode. À l'époque, on faisait réagir des végétaux en décomposition, riches en ions nitrate, par action de bactéries nitrifiantes avec de la chaux CaO(s) pour produire du nitrate de calcium, extrait par la suite avec de l'eau. L'addition ultérieure de cendres de bois, riches en carbonate de potassium, conduisait, après filtration et cristallisation, à du nitrate de potassium ou salpêtre, qui était utilisé pour la fabrication de la poudre à canon.

Courtois remplaça les cendres de bois par des cendres, moins coûteuses, de certaines algues comme le varech. Au fond des cuves où la production de salpêtre était effectuée, il a remarqué un dépôt qui n'apparaissait que lorsque les cendres provenaient d'algues. Courtois décida de nettoyer le fond de la cuve avec de l'acide sulfurique et il observa alors des vapeurs violettes qui se condensaient en cristaux bruns foncés au contact de la paroi froide des cuves. Gay-Lussac, consulté par Courtois, prouva qu'il s'agissait d'un nouvel élément qu'il baptisa « iode » du grec *ιώδης* signifiant "couleur de la violette".

1-L'Indium

Les sulfures polymétalliques hydrothermaux, présentés en introduction, sont une source d'indium dont l'abondance dans la croûte terrestre est estimée à 0,05 ppm, soit moins de 100000 tonnes au total. Actuellement, 90 % de la production mondiale d'indium sert à l'élaboration des films fins d'ITO (**I**ndium **T**in **O**xide = oxyde d'indium dopé à l'étain) des écrans plats LCD (**L**iquid **C**ystal **D**isplay = écrans à cristaux liquides).

L'indium est l'élément chimique de numéro atomique $Z = 49$. Il possède deux isotopes naturels : ^{113}In et ^{115}In . Les principaux nombres d'oxydation de l'indium sont 0, +I et +III, le nombre d'oxydation +II étant rarement rencontré et correspondant à des espèces instables. L'indium métal $\text{In}(s)$ est un corps simple qui n'existe pas à l'état naturel : dans les minerais, l'indium est le plus souvent contenu dans des sulfures polymétalliques, associé avec du zinc, du plomb, du cuivre ou de l'étain.

- Q12-** Donner la définition des termes « numéro atomique », « élément chimique », « isotopes » et « corps simple ».
- Q13-** Donner la configuration électronique de l'atome d'indium dans son état fondamental, en précisant et énonçant les règles qui conduisent à cette configuration. On précisera quels sont les électrons de valence de l'atome d'indium. Préciser sa place dans la classification périodique, en justifiant.
- Q14-** Proposer une schématisation des orbitales de valence de l'atome d'indium.
- Q15-** Proposer une explication au fait que l'indium au nombre d'oxydation +III est plus fréquent dans la nature que l'indium au nombre d'oxydation +II.

2- L'iode

Dans l'eau de mer, on trouve l'élément iode, ^{53}I , principalement sous forme d'ions iodure. Les algues ainsi que divers animaux marins assimilent ces ions iodure et les concentrent. Ainsi, certaines algues, comme le varech, sont particulièrement riches en iode. Le **document 1**, proposé page 5, relate la découverte du diiode par Bernard Courtois en 1811.

En présence d'ions iodure, le diiode forme l'ion triiodure I_3^- . Expérimentalement, on observe que cet ion est linéaire ($\hat{I}\hat{I} = 180^\circ$).

- Q16-** Donner la configuration électronique de l'iode et préciser sa position dans le tableau périodique. En déduire à quel groupe de la classification périodique il appartient.

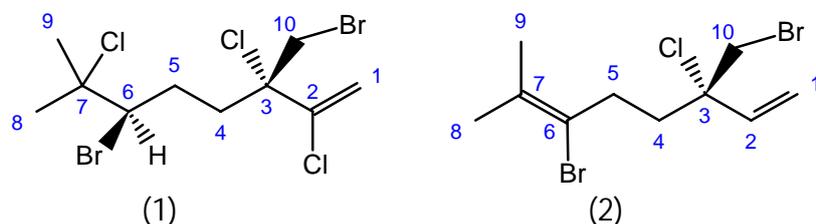
On donne ci-dessous la solubilité s du diiode à 25°C dans différents solvants :

	eau pure	solution aqueuse à $20\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ en KI	cyclohexane
$s(\text{I}_2) / \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0,34	> 10	21,73

- Q17-** Proposer une explication à ces différences de solubilité.

4- Les ressources organiques de la mer

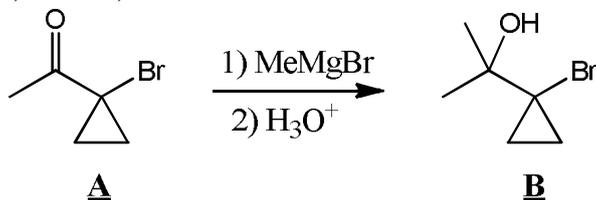
Dans l'eau de mer, les concentrations molaires volumiques en ions halogénure sont approximativement de $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions Cl^- , $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions Br^- et $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions I^- . Il n'est donc pas surprenant que de nombreux organismes marins produisent des composés organiques polyhalogénés. Parmi ces espèces, on peut citer les composés (1) et (2), représentés ci-dessous :



Le (-)-halomon (1) et le (3S)-6-bromo-3-(bromométhyl)-3-chloro-7-méthylocta-1,6-diène (2) ont été isolés de l'algue rouge **Portieria hornemannii** au début des années 90 : des études ont montré que ces composés présentent des propriétés antitumorales.

- Q18-** Dans « (-)-halomon », que signifie le symbole (-) ? Préciser à l'aide du pouvoir rotatoire spécifique $[\alpha]_{\lambda}^{\theta}$. Exprimer le pouvoir rotatoire pour une solution contenant une ou plusieurs substances optiquement actives.
- Q19-** Donner la définition du mot « chiral ». La molécule de (-)-halomon est-elle chirale ?
- Q20-** Préciser les descripteurs stéréochimiques des atomes chiraux de la molécule (1)
(Note de votre professeur, pour la dernière fois : Sans justification, aucun point ne pourra être attribué).

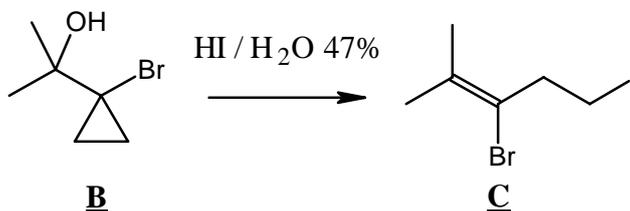
On se propose dans la suite d'étudier une synthèse du composé (2) racémique d'après M. E. Jung, M. H. Parker, J. Org. Chem., Vol. 62, No. 21, 1997.



La cétone **A** est dissoute dans de l'éther (éther diéthylique ou éthoxyéthane) anhydre, puis, à $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, une solution de bromure de méthylmagnésium dans de l'éther anhydre est ajoutée lentement à la solution précédente. Après retour à température ambiante puis hydrolyse acide, on isole l'alcool tertiaire **B** sous forme d'un liquide incolore avec un rendement de 94 %.

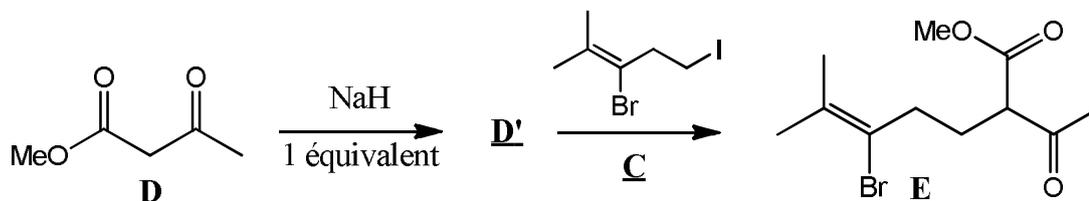
- Q21-** Justifier l'utilisation de l'éther anhydre comme solvant dans cette étape.
- Q22-** Proposer un schéma réactionnel pour l'étape **A** \rightarrow **B** et préciser quel est le rôle de l'étape d'hydrolyse acide.

L'alcool tertiaire **B** réagit ensuite avec un excès d'acide iodhydrique à 47 % : le mélange réactionnel, hétérogène, est agité vigoureusement à température ambiante pendant 30 min. On verse ensuite dans le mélange réactionnel 100 mL d'éther et 100 mL d'eau désionisée et on agite. La phase organique est isolée puis lavée d'abord avec une solution aqueuse saturée en hydrogénocarbonate de potassium, $K^+(aq) + HCO_3^-(aq)$, puis avec une solution aqueuse à 10 % en thiosulfate de sodium, et enfin avec une solution aqueuse saturée de chlorure de sodium. Après séchage de la phase organique et élimination de l'éther à l'évaporateur rotatif, on obtient le 3-bromo-5-iodo-2-méthylpent-2-ène noté **C** avec un rendement de 97 %.

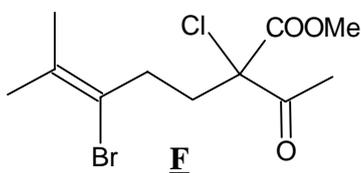


- Q23-** Expliquer pourquoi il faut agiter vigoureusement le mélange réactionnel lors de cette étape.
- Q24-** Indiquer le rôle du lavage de la phase organique avec la solution aqueuse saturée en hydrogénocarbonate de potassium. Expliquer pourquoi on n'utilise pas ici une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. Écrire l'équation de la réaction qui se produit dans cette étape. Proposer une précaution expérimentale à prendre pour réaliser cette étape.
- Q25-** ***Grâce à vos connaissances sur les mécanismes de substitution nucléophile et élimination, proposer un mécanisme en deux étapes, pour expliquer le passage du composé **B** au composé **C**.

Dans un ballon préalablement séché et contenant du THF (TétraHydroFurane) anhydre, on fait réagir l'acétylacétate de méthyle **D** avec un équivalent d'hydrure de sodium NaH, ce qui signifie que les quantités de matière initiales $n_0(\mathbf{D})$ et $n_0(\text{NaH})$ sont égales. Un gaz s'échappe du milieu réactionnel lors de cette réaction et il se forme le carbanion **D'**. Ensuite, on introduit le composé **C** et le mélange réactionnel est agité au reflux pendant neuf jours. Après traitement du mélange réactionnel, on isole un produit le β -céto-ester **E** racémique (représenté ci-dessous) avec un rendement de 80%.



- Q26-** Dédire de la structure du produit **E** la structure du nucléophile **D'** qui, par action sur **C**, a permis de l'obtenir. Préciser le mécanisme de cette transformation **D'** \rightarrow **E**.

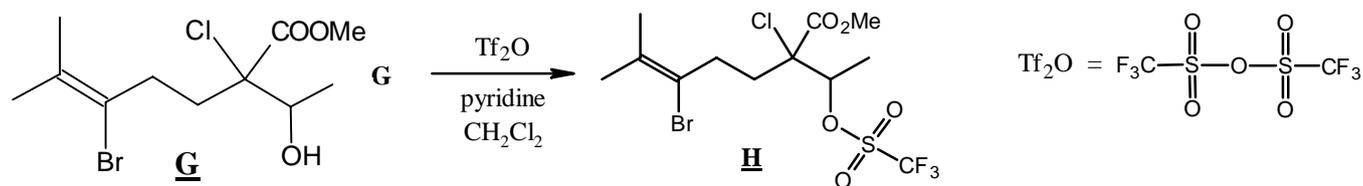


- Q27-** Dédire de la structure de **D'** la formule et le nom du gaz qui se dégage lors de la réaction entre l'hydrure de sodium NaH et l'acétylacétate de méthyle **D**. De quel type est cette réaction ? Justifier sa régiosélectivité.

E est ensuite converti en composé **F** :

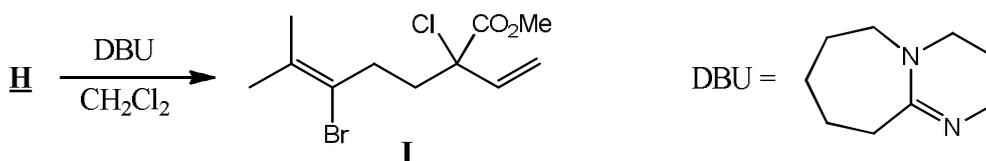
- Q28-** Proposer les conditions permettant, à partir de **F**, d'obtenir **G** (voir ci-dessous) qui est un mélange optiquement inactif de quatre stéréo-isomères. Préciser le mécanisme simplifié de cette transformation.

Le produit **G** est ensuite transformé en triflate **H**, qui est aussi un mélange de quatre stéréo-isomères.



Q29- Tf_2O a la même réactivité qu'un chlorure de sulfonyle $\text{Cl}-\text{SO}_2-\text{R}$. En déduire le mécanisme de la transformation de **G** en **H**. Préciser le rôle de la pyridine et de CH_2Cl_2 .

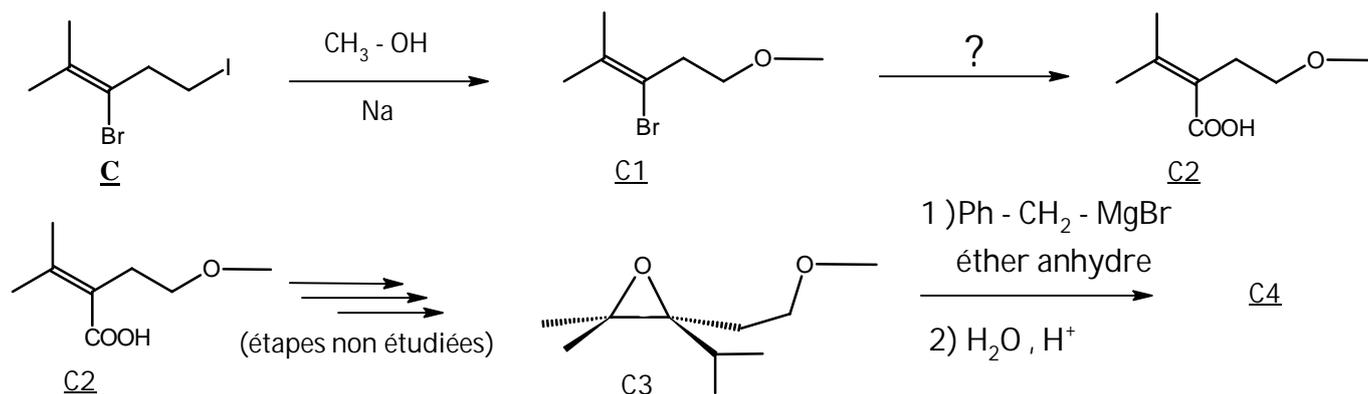
Après réaction entre **H** et le DBU (1,8-DiazaBicyclo[5.4.0]Undéc-7-ène) dans le dichlorométhane à température ambiante pendant 12 h, on isole le diène **I** racémique avec un rendement de 96 %. On précise que le DBU est la base d'un couple de $\text{pK}_a = 13,5$.



Q30- Préciser par quel type de réaction on passe de **H** au diène **I**. Quel est le rôle de la DBU ? Indiquer l'intérêt d'utiliser le DBU dans ce cas. Préciser, en justifiant quel est l'atome actif de la DBU.

(2) sera alors obtenu en 3 étapes, à partir de **I**, dernières étapes non étudiées dans ce sujet

Le composé **C** est à l'origine d'une autre synthèse : Soumis à l'action d'une solution de méthanol dans laquelle on avait préalablement ajouté du sodium métal, **C** est transformé en **C1**, lequel permet de synthétiser facilement **C2**. Après différentes étapes non étudiées dans cette séquence, on obtient le produit **C3**. **C3** est versé goutte à goutte dans une solution de bromure de benzyl magnésium, en quantité stœchiométrique. A la fin de la réaction, on procède à une hydrolyse acide. Après séparation des phases, lavage de la phase organique, addition de sulfate de magnésium anhydre, la solution organique est passée à l'évaporateur rotatif : on obtient au fond du ballon le produit **C4**, lévogyre.



Q31- Justifier l'obtention du produit **C1**. Nommer la réaction qui a été ici utilisée.

Q32- Proposer des réactifs et une méthode expérimentale multi-étapes permettant d'obtenir le produit **C2** à partir de **C1**.

Q33- Présenter la structure, y compris stéréochimique, du produit **C4** obtenu. Justifier son obtention en précisant le mécanisme de la transformation qui a permis son obtention.

III- LA CHIMIE DES ALLUMETTES

Document : <https://antoine-escola.fr/index.php/2024/02/27/la-chimie-des-allumettes/>

I. Composition d'une allumette

Une allumette est une petite tige de bois (souvent en peuplier) imprégnée de phosphate d'ammonium $(NH_4)_3PO_4$ et de paraffine. L'extrémité de celle-ci est composée d'un mélange de chlorate de potassium $KClO_3$, de trisulfure de diantimoine Sb_2S_3 et de phosphate d'ammonium $(NH_4)_3PO_4$ enduits dans une colle.

Le grattoir de la boîte d'allumette, quant à lui, est composé de poudre de verre $SiO_2(s)$ et de phosphore rouge $P(s)$: variété allotropique stable du phosphore, non toxique, non inflammable et polymérique.

II. Combustion d'une allumette

La friction de l'allumette sur la poudre de verre du grattoir entraîne une augmentation locale de la température transformant alors le phosphore rouge $P(s)$ en son allotrope, le phosphore blanc $P_4(s)$. Volatil et hautement inflammable, le phosphore blanc réagit avec le dioxygène de l'air selon l'équilibre $P_4 + 3 O_2 = P_4O_6$; équilibre permettant d'amorcer la flamme de l'allumette.

Sous l'effet de l'échauffement créé par la friction et par la combustion du phosphore blanc, le chlorate de potassium (en qualité d'oxydant) se décompose en chlorure de potassium et en dioxygène selon l'équilibre $KClO_3 = KCl + \frac{3}{2} O_2(g)$.

Le trisulfure de diantimoine (en qualité de réducteur) sert de combustible à l'allumette afin que la flamme se maintienne quelques instants.

La transformation associée est $Sb_2S_3 + \frac{9}{2} O_2 = Sb_2O_3 + 3 SO_2$

Ou au bilan : $Sb_2S_3 + 3 KClO_3 = Sb_2O_3 + 3 SO_2 + 3 KCl$

La cire de paraffine permet aussi, en tant que combustible, d'entretenir la flamme selon

$C_nH_{2n+2}(g) + \frac{(3n+1)}{2} O_2(g) = n CO_2(g) + (n+1) H_2O(g)$

Enfin, le phosphate d'ammonium est utilisé en tant que retardateur de flamme évitant que le bois ne brûle trop vite et n'émette trop de fumées.

1- Etude du phosphore blanc

L'état standard du phosphore à 298K est le phosphore blanc solide $P_{(b,s)}$. Le phosphore rouge $P_{(r,s)}$ quant à lui, est sans danger.

Inversement, comme il l'est mentionné dans le document, le phosphore blanc P_4 est hautement toxique, quel que soit son état.

On admet que l'entité P_4 se trouve sous la forme d'un tétraèdre (P aux sommets). On admet également que l'entité P_4O_6 dérive de la structure de P_4 par l'insertion d'un atome d'oxygène sur chaque arête du tétraèdre. (On rappelle que les 4 H de CH_4 forment un tétraèdre, l'atome de C étant au centre du tétraèdre.)

34- Représenter l'entité P_4 . Combien contient-elle de liaisons phosphore-phosphore ? Que valent les angles entre ces liaisons ? Sachant que $Z(P) = 15$, commenter la valeur de cet angle, par comparaison avec la méthode VSEPR.

35- Représenter l'entité P_4O_6 . Combien contient-elle de liaisons phosphore-oxygène ?

Le tableau suivant contient les enthalpies standard de dissociation de liaison P-P, O=O et P-O notées ici E_i :

Liaison	P-P	P-O	O=O
E_i (kJ.mol ⁻¹)	201	459	494

L'enthalpie de sublimation de $P_{4(s)}$ est donnée: $\Delta_{\text{sub}}H^\circ(P_{4(s)}) = 1228,4 \text{ kJ.mol}^{-1}$

On précise ici la réaction de combustion de P_4 mentionnée dans le document :

Réaction (1) : $P_{4(s)} + 3 O_{2(g)} \rightarrow P_4O_{6(g)}$ supposée totale.

36- En déduire une estimation de l'enthalpie $\Delta_r H^\circ_1$ associée à la réaction (1) précédente.

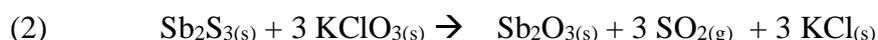
La valeur de l'enthalpie de liaison P-O est très variable selon des données, car présente dans de très nombreuses structures très différentes. En conséquence, pour la suite de ce problème, on utilisera pour $\Delta_r H^\circ_1$ la valeur suivante :

$$\Delta_r H^\circ_1 = -1564 \text{ kJ.mol}^{-1} .$$

Dans la suite, toutes les combustions évoquées sont supposées adiabatiques. Les données nécessaires aux questions **Q37** et **Q38** se trouvent en bas de page.

37- Le frottement de l'allumette conduit à la réaction de combustion (1). Le dioxygène est fourni en quantité stœchiométrique, par l'air ambiant (rappel : l'air contient 20% de dioxygène et 80% d'air). En déduire la température atteinte autour des premières étincelles, pour une température ambiante initiale ordinaire de 20°C.

Ces étincelles et l'élévation de température provoquées par le frottement enclenchent la réaction (2), produisant la première flamme de l'allumette. Présentée dans le document, cette réaction (2) est reprécisée ci-dessous :



Rappel : On appelle température de flamme, la température finale atteinte en fin de réaction, en supposant la transformation adiabatique, et tous les gaz présents.

38- En supposant que l'extrémité solide rouge est initialement toujours à 20°C, et que le sulfure d'antimoine Sb_2S_3 et le chlorate de potassium KClO_3 , sont en mélange stœchiométrique, déterminer la température de la première flamme obtenue au bout de l'allumette (on néglige donc la participation de la paraffine et du bois, dont la combustion est ultérieure).

39- Commenter les valeurs des températures finales obtenues.

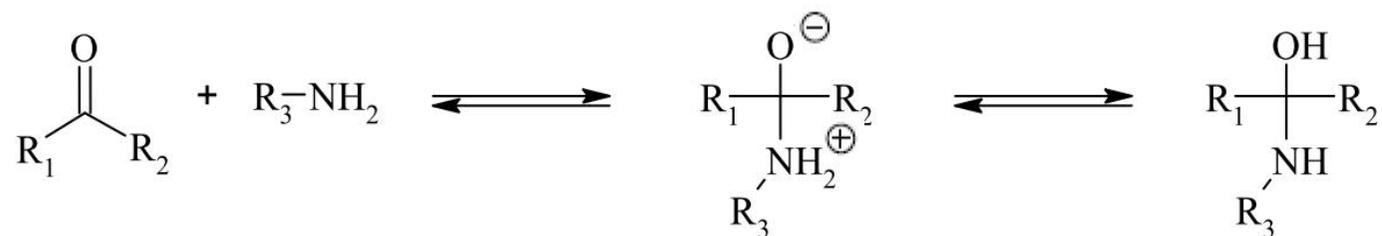
Données : enthalpies standard de formation $\Delta_f H^\circ$ en $\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ et capacités calorifiques C_p en $\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Espèce	$\text{P}_4(\text{s})$	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{N}_2(\text{g})$	$\text{P}_4\text{O}_6(\text{g})$	$\text{Sb}_2\text{S}_3(\text{s})$	$\text{KClO}_3(\text{s})$	$\text{Sb}_2\text{O}_3(\text{s})$	$\text{SO}_2(\text{g})$	$\text{KCl}(\text{s})$
$\Delta_f H^\circ$					-147,3	-397,7	-689,9	-296,8	-436,7
C_p	23,8	29,4	29,1	195,2	119,9	100,2	101,3	39,9	51,3

NOM, Prénom :

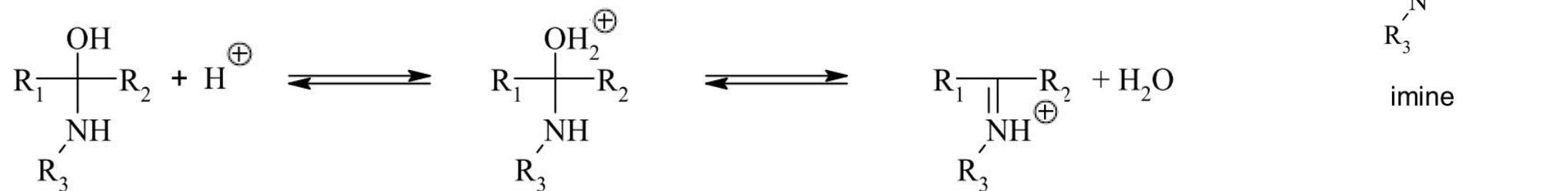
ANNEXE Q3

Séquence 1



hémiaminal

Séquence 2



imine