

CONCOURS BLANC**DURÉE : 4 HEURES****18/01/2025**

L'utilisation de la calculatrice est AUTORISÉE pour cette épreuve.

★ ★ ★

Toute affirmation doit être rigoureusement justifiée. La précision, la clarté et la concision des réponses seront particulièrement appréciées.

Tous les résultats littéraux doivent être encadrés; les applications numériques, les phrases conclusives et les mots clés soulignés.

★ ★ ★

Ce sujet comporte 15 pages et deux problèmes indépendants.

Problème I - Autour de l'élément zinc**Partie A - Propriétés atomistiques et cristallographiques du Zinc**

Le sulfure de zinc (ZnS) cristallise dans la *blende* selon un système cubique à faces centrées d'ions S^{2-} dans lequel les cations Zn^{2+} occupent la moitié des sites tétraédriques de ce cube. La maille de ce réseau est assimilée à un cube de côté a dont les sommets et les centres de chaque face sont occupés par un anion. Les cations occupent la moitié des sites tétraédriques de ce cube.

I.A.1. Représenter la maille du cristal.

I.A.2. Indiquer les coordinences anion/anion, cation/cation et cation/anion.

I.A.3. Établir la condition de tangence entre les anions et les cations. En déduire la distance cation-anion en fonction du paramètre de maille. Établir l'inégalité concernant le rapport des rayons ioniques dans l'hypothèse de la question précédente.

I.A.4. Calculer à partir des valeurs le rapport des rayons. Commenter.

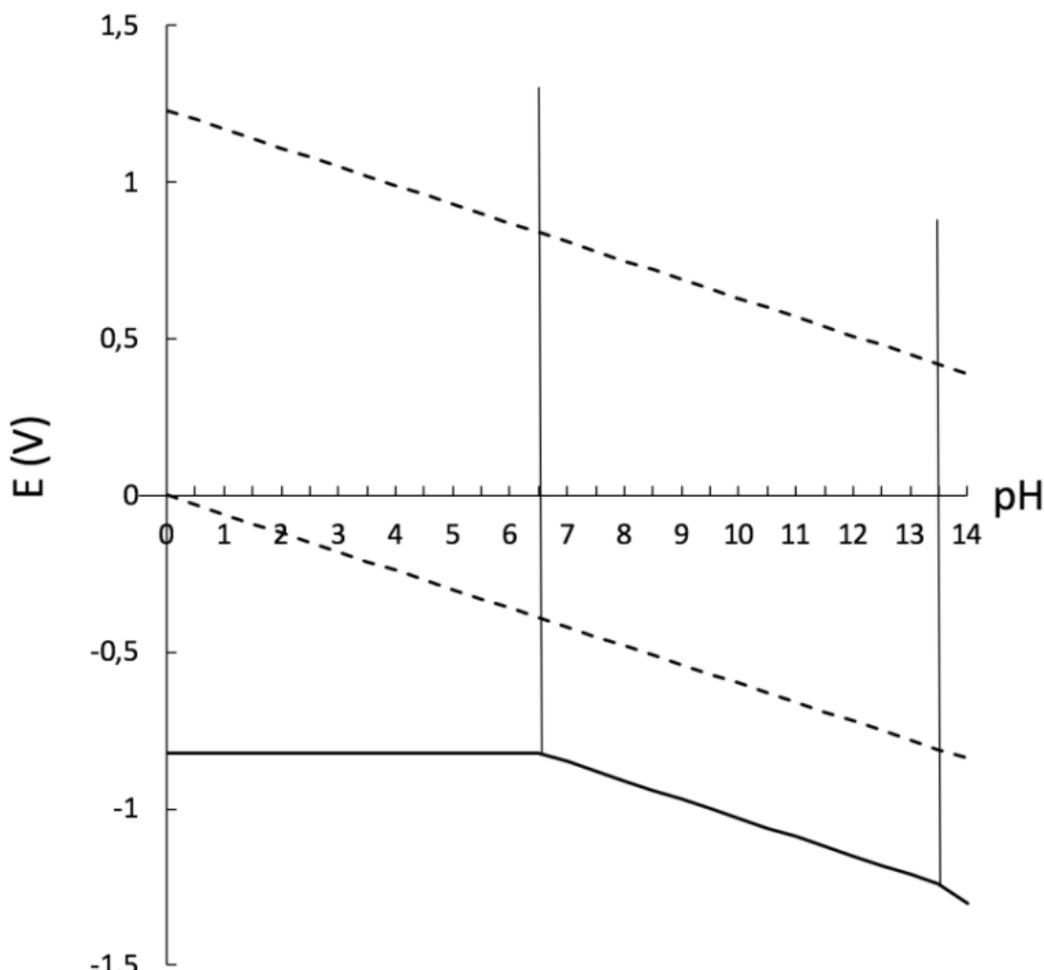
I.A.5. Exprimer la masse volumique ρ de $ZnS_{(s)}$ en fonction du paramètre de maille a . Calculer sa valeur numérique.

Partie B - Diagrammes du zinc en solution aqueuse et en solution de sulfure

Le diagramme potentiel-pH du zinc dans l'eau pure est donné en figure I.1. Le tracé a été réalisé pour une concentration de zinc dissoute $[Zn(OH)_4^{2-}]$ égale à $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en l'absence de

phase solide. Les espèces suivantes du zinc sont prises en compte : $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+}$, $\text{Zn}(\text{OH})_{4(\text{aq})}^{2-}$, $\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ et $\text{Zn}_{(\text{s})}$.

Figure I.1 : superposition des diagrammes potentiel-pH du zinc et de l'eau



Le diagramme potentiel-pH de l'élément zinc est en trait plein. Celui de l'eau est en traits pontillés.

I.B.1. Attribuer les différents domaines de prédominance ou d'existence sur le diagramme de la figure I.1 en traçant l'allure du diagramme sur la copie et précisant l'espèce dans les différentes zones ainsi définies. Une justification succincte est attendue.

I.B.2. Écrire l'équation de dissolution du précipité en ions $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+}$. Calculer le pH de précipitation de l'hydroxyde de zinc (II) $\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ à partir d'une solution d'ions $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+}$ à la concentration de $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

I.B.3. Écrire l'équation de formation de l'espèce $\text{Zn}(\text{OH})_{4(\text{aq})}^{2-}$ à partir de $\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{s})}$. Exprimer la constante thermodynamique d'équilibre de cette réaction puis la calculer.

I.B.4. En déduire la valeur du pH à la deuxième frontière verticale sur le diagramme.

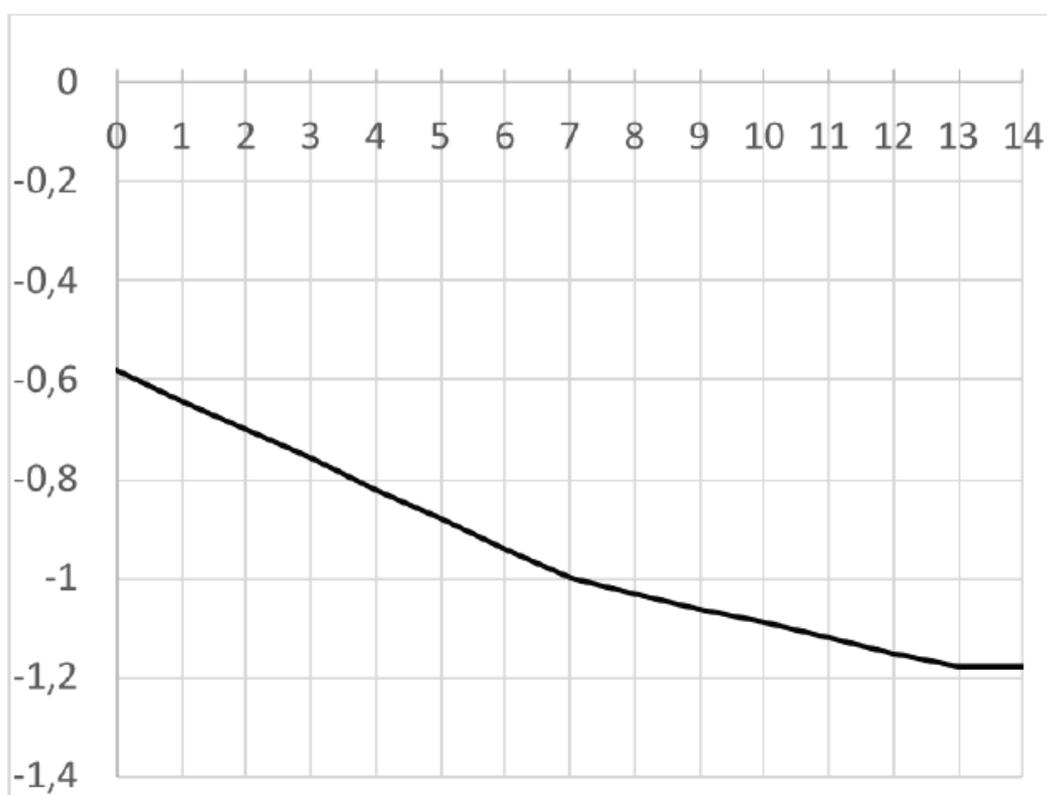
Dans la suite, le but est de s'intéresser à la stabilité du zinc dans l'eau.

I.B.5. Tracer sur la copie l'allure de la figure I.1 correspondante aux domaines de prédominance de l'eau représentés en pointillé en précisant les demi-réactions redox de l'eau et attribuer aux espèces.

I.B.6. Discuter de la stabilité du zinc métallique en solution aqueuse.

Le diagramme potentiel-pH du zinc dans une solution de sulfure est donné en figure I.2. Il a été tracé avec une concentration en soufre dissous $[S^{2-}]$, $[HS^-]$ et $[H_2S]$ égales à $10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Les espèces du zinc prises en compte sont $Zn_{(s)}$ et $ZnS_{(s)}$.

Figure I.2 : diagramme E-pH du zinc en solution de sulfure



Ce diagramme a été tracé avec une concentration en soufre dissous égale à $10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Les espèces du zinc prises en compte sont $Zn_{(s)}$ et $ZnS_{(s)}$.

I.B.7. Indiquer le nombre d'oxydation de l'élément zinc dans l'espèce $ZnS_{(s)}$.

I.B.8. Tracer un diagramme de prédominance des espèces acido-basiques relatives au sulfure $S_{(aq)}^{2-}$ en fonction du pH.

- I.B.9.** Écrire la demi-équation rédox du couple $\text{Zn(II)}/\text{Zn(0)}$ en présence de $\text{ZnS}_{(s)}$.
- I.B.10.** Expliquer qualitativement les ruptures de pente dans la zone de frontière des domaines de $\text{Zn}_{(s)}$ et $\text{ZnS}_{(s)}$ sans chercher à calculer l'équation complète des droites.
- I.B.11.** Retrouver la valeur du potentiel de la zone frontière du couple $\text{ZnS}_{(s)}/\text{Zn}_{(s)}$ pour un pH supérieur à 13.
- I.B.12.** Retrouver par le calcul la pente de la zone frontière de $\text{Zn}_{(s)}$ et $\text{ZnS}_{(s)}$ pour un pH entre 7 et 13.
- I.B.13.** À partir du diagramme de la figure I.2, interpréter l'oxydation du zinc par le dioxygène de l'atmosphère sous forme de sulfure de zinc et écrire la réaction d'oxydoréduction correspondante pour un pH de l'ordre de 8.

Partie C - Thermodynamique de la dissolution du sulfure de zinc en solution aqueuse

Le sulfure de zinc (ZnS) est dissout dans une solution aqueuse de carbonate de sodium (Na_2CO_3) contenant des ions CO_3^{2-} à une concentration de $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pour fixer le pH.

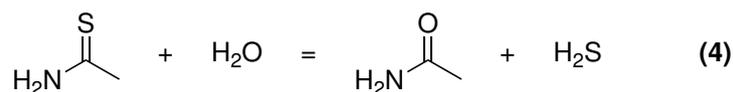
- I.C.1.** Indiquer si la solution est basique ou acide. Justifier qualitativement, sans chercher à calculer le pH.
- I.C.2.** Rappeler la définition de l'état standard de référence d'un constituant physico-chimique. Écrire l'équation de la réaction à laquelle correspond l'enthalpie standard de formation de $\text{ZnS}_{(s)}$.
- I.C.3.** Exprimer et calculer l'enthalpie standard $\Delta_r H^\circ$ et l'entropie standard $\Delta_r S^\circ$ de la réaction. Commenter les valeurs obtenues.
- I.C.4.** Exprimer puis l'enthalpie libre standard $\Delta_r G^\circ$ de la réaction à 298 K.
- I.C.5.** Exprimer la constante thermodynamique d'équilibre de la réaction en fonction de l'enthalpie libre standard de la réaction.
- I.C.6.** Commenter l'effet d'une augmentation de température sur la réaction.
- On dispose d'un volume de 100 mL d'une solution de bicarbonate de sodium $\text{Na}_2\text{CO}_3_{(s)}$, sel soluble dans l'eau, de concentration $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- I.C.7.** Écrire et ajuster l'équation de la réaction de dissolution de ce sel dans l'eau.
- I.C.8.** Écrire et ajuster l'équation de la réaction acido-basique de l'eau sur les ions bicarbonate $\text{CO}_3^{2-}_{(aq)}$, notée (2) et ne tenant compte que de la première basicité des ions bicarbonate. Calculer la concentration en ions hydroxyde dans cette solution de bicarbonate de sodium.

Une masse $m_{\text{ZnS}_{(s)}}$ de sulfure de zinc $\text{ZnS}_{(s)}$ est introduite dans cette solution.

I.C.9. En combinant les réactions (1) et (2), proposer un équation pour la réaction, notée (3), des ions bicarbonate $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ avec le sulfure de zinc $\text{ZnS}(\text{s})$. Calculer la constante thermodynamique d'équilibre de cette réaction (3). Conclure.

Partie D - Cinétique de la synthèse de sulfure de zinc

Afin de mieux contrôler la taille et la morphologie des particules de $\text{ZnS}(\text{s})$, une précipitation dite « homogène » où l'on génère $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ *in situ* par décomposition de thioacétamine TAA en milieu acide est utilisée. Ce processus est résumé par l'équation de réaction suivante :

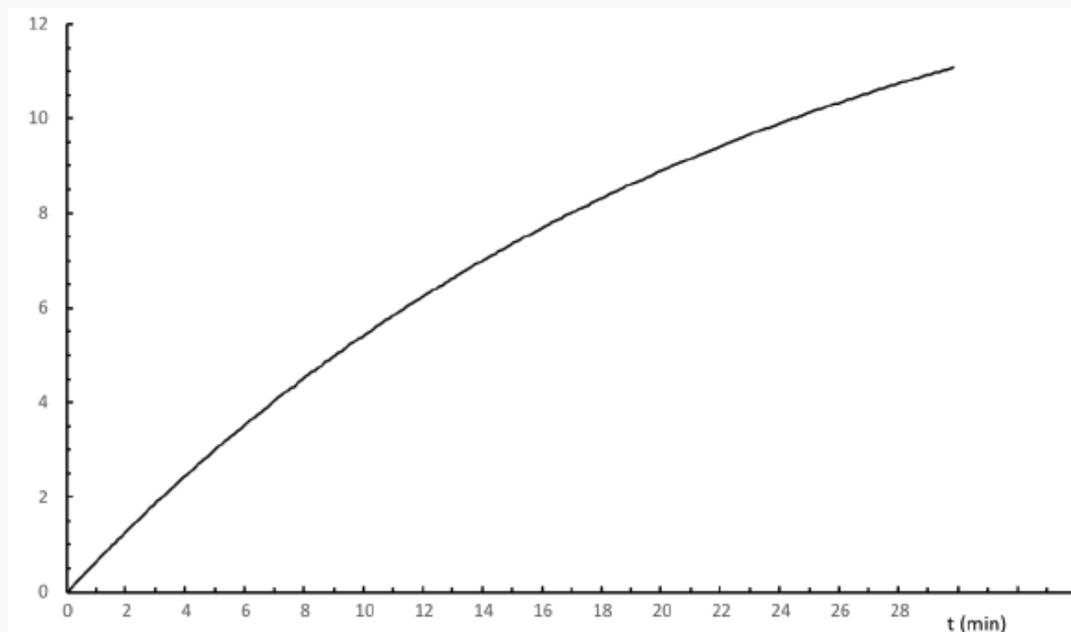


La cinétique de décomposition du TAA (réaction 4) est supposée suivre une loi de type premier ordre selon chacun des réactifs $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ et TAA avec une constante cinétique notée k .

À l'instant initial, le milieu est chauffé suffisamment rapidement pour que le temps de chauffe jusqu'à la température de travail T_0 soit négligé. Cette température reste alors constante tout au long de l'expérience.

La réaction est effectuée en milieu tamponné. Dans les conditions où $[\text{TAA}]_0 = 0,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $\text{pH} = 1$, les résultats sont présentés sur la figure I.3.

Figure I.3 : évolution de la concentration en ions disulfure au cours du temps



L'axe des ordonnées représente $[\text{S}^{2-}] \cdot 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ lors de la décomposition de la thioacétamine.

I.D.1. Préciser l'intérêt d'étudier la cinétique de cette réaction en milieu tamponné.

I.D.2. Exprimer la loi de vitesse de la réaction (4) en fonction de $[TAA]$ et $[H_2O^+]$.

I.D.3. En déduire l'expression de la concentration $[H_2S]$ en fonction du temps.

I.D.4. Exprimer la concentration en $S_{(aq)}^{2-}$ en fonction de celle en $H_2S_{(aq)}$, des constantes $K_{a,1}$ et $K_{a,2}$ ainsi que de la concentration en ions hydronium $[H_3O^+]$.

I.D.5. En déduire que :

$$[S^{2-}] = K_{a,1}K_{a,2} \frac{[TAA]_0}{[H_3O^+]^2} \left(1 - e^{-k[H_3O^+]t}\right)$$

I.D.6. Sachant que la courbe tend vers $[S^{2-}]_{\infty} = 1,5 \cdot 10^{-17} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, déterminer la valeur de k en prenant le point de la courbe dont les données sont : $t_1 = 11 \text{ min}$ et $[S^{2-}] = 6,0 \cdot 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (figure I.3).

Le milieu est supposé contenir du nitrate de zinc $Zn(NO_3)_{2(aq)}$ à la concentration en quantité de matière de $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Un précipité commence à être détecté à $t_2 = 3 \text{ min}$.

I.D.7. Calculer le quotient de la réaction de précipitation du sulfure de zinc $ZnS_{(s)}$ juste avant la précipitation et comparer cette valeur au K_s . Indiquer si la solution est saturée ou non en sulfure de zinc.

I.D.8. À partir des propriétés acido-basiques de $H_2S_{(aq)}$, écrire l'équation (5) de la réaction de $H_2S_{(aq)}$ avec l'eau qui permet d'expliquer la présence des ions $S_{(aq)}^{2-}$ nécessaire à la précipitation de $ZnS_{(s)}$.

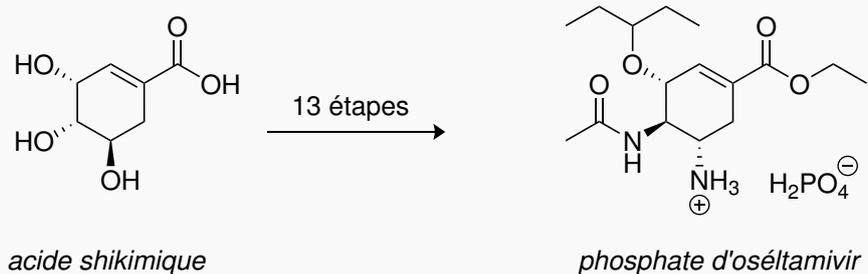
I.D.9. Proposer une équation pour la réaction des ions $Zn_{(aq)}^{2+}$ avec $H_2S_{(aq)}$.

I.D.10. Estimer le temps nécessaire pour précipiter tout le zinc sous forme de sulfure de zinc $ZnS_{(s)}$ dans les conditions de l'expérience.

Problème II - Synthèse de l'oséltamivir

L'oséltamivir est un médicament antiviral utilisé pour le traitement et la prévention des grippe A et B. Il est distribué sous la marque Tamiflu sous la forme d'un phosphate, le phosphate d'oséltamivir. Jusqu'en 2005, celui-ci était produit industriellement à partir de l'acide shikimique extrait de la badiane chinoise (*Illicium verum*), aussi appelée anis étoilé, cultivée dans le sud de la Chine entre Shanghai et la frontière vietnamienne. Depuis, d'autres plantes comme le liquidambar ou le ginkgo se sont révélées être des sources potentielles d'acide shikimique. Le sujet proposé s'intéresse à la synthèse industrielle du phosphate d'oséltamivir obtenu en 13 étapes à partir de l'acide shikimique (figure II.1).

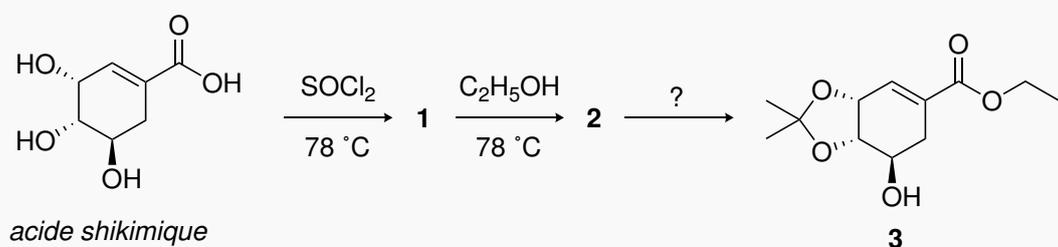
Figure II.1 : transformation de l'acide shikimique



Partie A - Synthèse industrielle du phosphate d'oséltamivir

La synthèse industrielle de l'oséltamivir débute par la préparation du composé bicyclique 3 obtenu en 3 étapes à partir de l'acide shikimique (figure II.2) :

Figure II.2 : obtention du composé 3



II.A.1. L'acide shikimique est un composé chiral. Justifier cette affirmation et représenter son énantiomère.

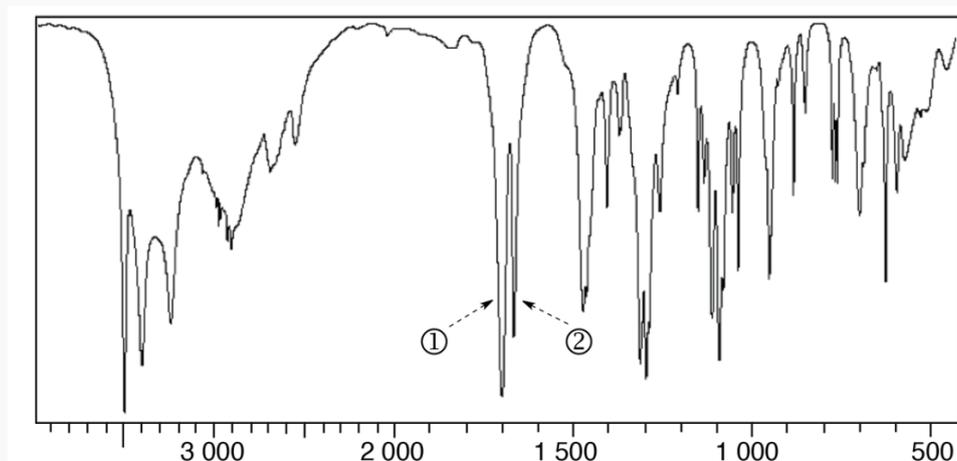
II.A.2. Identifier et nommer les groupes caractéristiques présents dans l'acide shikimique.

Le spectre infrarouge (IR) de l'acide shikimique est représenté dans le document II.1, page 8.

II.A.3. Pour les deux bandes d'absorption indiquées par les flèches 1 et 2 sur le document II.1, proposer une attribution.

Document II.1 : spectre infrarouge (IR) de l'acide shikimique

Indication : l'abscisse représente le nombre d'onde en cm^{-1} .



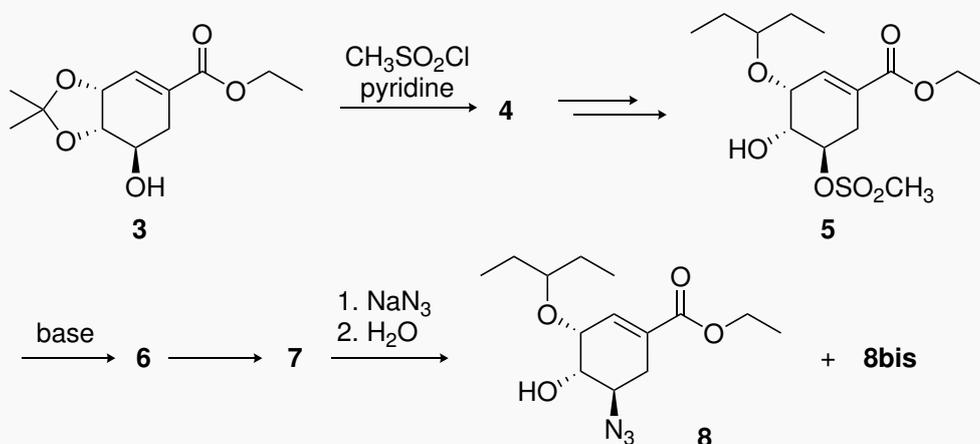
II.A.4. Représenter le schéma de LEWIS du chlorure de thionyle SOCl_2 . Indiquer la géométrie de cette molécule et indiquer la valeur théorique des angles de liaison. Indiquer, en justifiant, si la molécule de chlorure de thionyle est polaire ou apolaire.

II.A.5. Représenter les composés **1** et **2**.

II.A.6. Nommer la fonction créée lors de la formation du produit **3** à partir de **2**. Proposer des conditions expérimentales permettant d'effectuer cette transformation. Proposer un mécanisme réactionnel rendant compte de la formation de **3** à partir de **2** dans les conditions expérimentales précitées.

Le composé **3** est ensuite transformé en azoture **8** à l'aide de la séquence réactionnelle de la figure II.3.

Figure II.3 :



II.A.7. Le mésylate **4** est obtenu par réaction de l'alcool **3** avec le chlorure de mésyle, $\text{CH}_3\text{SO}_2\text{Cl}$, en présence de pyridine. Proposer une structure pour **4** ainsi qu'une équation de réaction permettant de modéliser cette transformation. Expliciter le rôle de la pyridine.

Le composé **5** est traité en milieu basique pour donner l'intermédiaire **6**. Celui-ci évolue spontanément en un produit bicyclique **7** de formule moléculaire $\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}_4$ obtenu sous la forme d'un seul stéréoisomère.

II.A.8. Représenter l'intermédiaire **6**. Proposer une base qui permettrait de former sélectivement l'intermédiaire **6** à partir du composé **5** en justifiant la réponse.

II.A.9. Justifier l'intérêt de la formation du mésylate **4** à partir de l'alcool **3**. Indiquer quel(s) autre(s) réactif(s) aurai(en)t pu être a priori utilisé(s) à la place du chlorure de mésyle, $\text{CH}_3\text{SO}_2\text{Cl}$. Justifier la réponse et proposer une interprétation du choix fait en faveur du chlorure de mésyle.

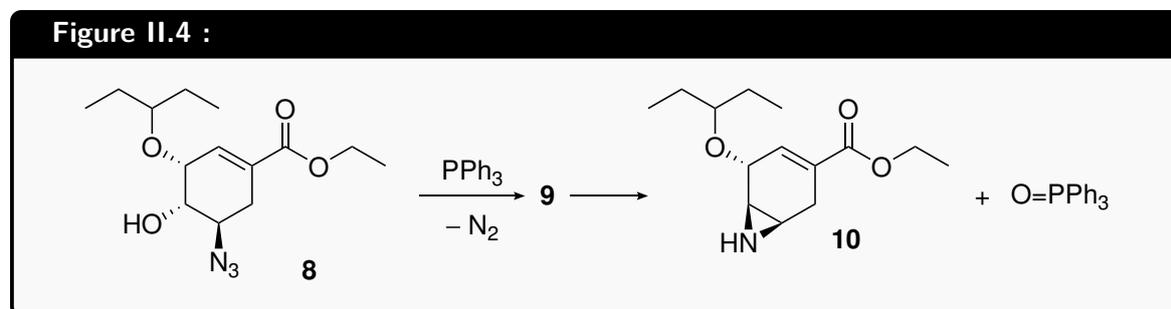
II.A.10. Représenter le composé **7** de formule brute $\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}_4$. Justifier la stéréosélectivité de sa formation.

Le composé bicyclique **7** est ensuite traité par l'azoture de sodium, NaN_3 , pour donner le produit majoritaire **8** accompagné d'un isomère **8bis**.

II.A.11. Donner les trois structures limites de résonance (formes mésomères) de l'ion azoture N_3^- respectant la règle de l'octet pour tous les atomes. Indiquer en justifiant quelle est la structure limite de résonance la plus contributive à la forme réelle.

II.A.12. Représenter l'isomère **8bis**.

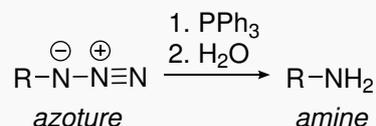
La suite de la synthèse de l'oséltamivir fait intervenir une réaction de STAUDINGER (document 12, page 13) sur l'azoture **8**. Mis en réaction avec la triphénylphosphine dans des conditions strictement anhydres, l'azoture **8** conduit ainsi à un intermédiaire **9** instable qui se réarrange rapidement en aziridine **10** (figure II.4) :



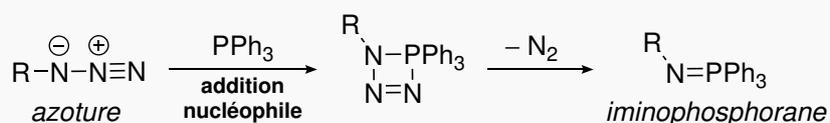
II.A.13. À l'aide du document II.2, proposer une structure pour l'intermédiaire **9**.

Document II.2 : la réaction de Staudinger

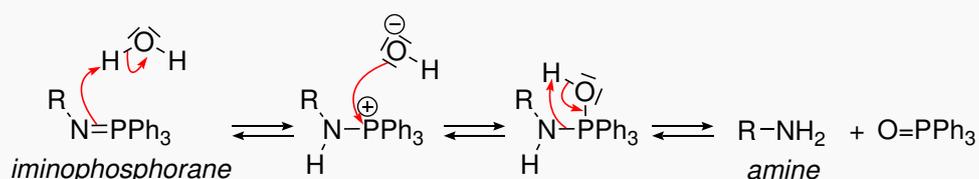
La réaction de STAUDINGER permet de transformer un azoture en l'amine correspondante dans des conditions douces compatibles avec de nombreuses fonctions. Deux étapes sont nécessaires :



La première étape correspond à l'addition nucléophile de la triphénylphosphine PPh₃ sur l'azoture, conduisant à la formation d'un iminophosphorane :



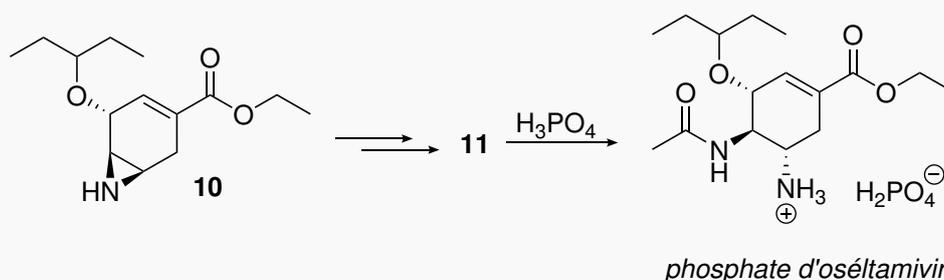
Dans la deuxième étape, la réaction d'hydrolyse de l'imino-phosphorane conduit à l'amine souhaitée. L'oxyde de triphénylphosphine est en plus obtenu comme sous-produit. Cette étape se déroule selon le mécanisme suivant :



II.A.14. L'instabilité de l'intermédiaire **9** est due à la présence du groupement hydroxyle sur la molécule. Ce groupement joue le même rôle que celui de l'eau dans la réaction de STAUDINGER. Proposer un mécanisme réactionnel rendant compte de la formation de l'aziridine **10** à partir de l'intermédiaire **9**.

L'oséltamivir est finalement obtenu sous forme de phosphate en plusieurs étapes à partir de l'aziridine **10** (figure II.5).

Figure II.5 : obtention du phosphate d'oséltamivir



II.A.15. Représenter le composé **11** qui, traité par l'acide phosphorique, H_3PO_4 , donne directement l'oséltamivir sous forme de phosphate.

II.A.16. À l'aide du document II.3, donner une raison pour laquelle l'utilisation de l'ammoniac NH_3 n'est pas envisageable pour obtenir sélectivement le composé **11** à partir de l'aziridine **10**. Proposer une séquence réactionnelle permettant d'effectuer cette transformation en représentant les produits intermédiaires.

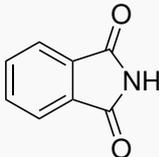
Document II.3 : synthèse des amines primaires

Les amines primaires (RNH_2) peuvent être créées par la substitution nucléophile (S_N) d'un groupe nucléofuge, porté par un atome de carbone, à l'aide de l'ammoniac NH_3 . Cette méthode de préparation des amines primaires est cependant très peu utilisée en synthèse. L'amine primaire ainsi formée est en effet plus réactive que l'ammoniac de départ. Cette stratégie conduit donc inévitablement à des mélanges d'amines primaires (RNH_2), secondaires (R_2NH) et tertiaires (R_3N) par polyalkylation de l'atome d'azote. Cela en limite considérablement l'intérêt en synthèse organique.

Des méthodes alternatives de préparation des amines primaires utilisant des équivalents masqués du groupement NH_2 sont ainsi généralement préférées. Ces méthodes comportent plusieurs étapes :

- dans la première étape, un groupe nucléofuge porté par un atome de carbone est substitué par un nucléophile azoté via une réaction de type $\text{S}_\text{N}2$ ou $\text{S}_\text{N}1$;
- une deuxième étape, faisant appel à des réactions classiques de la chimie organique, est ensuite nécessaire pour obtenir le groupe NH_2 .

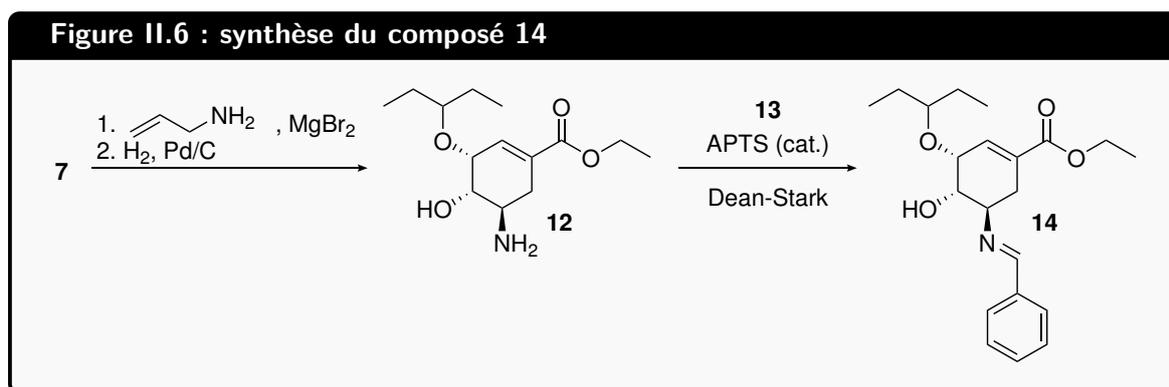
Le tableau ci-dessous présente quelques méthodes couramment utilisées pour la synthèse des amines primaires (les éventuelles étapes d'hydrolyse ne sont pas indiquées) :

première étape	deuxième étape
N_3^- ($\text{S}_\text{N}2$)	LiAlH_4
N_3^- ($\text{S}_\text{N}2$)	H_2 , Pd/C
N_3^- ($\text{S}_\text{N}2$)	PPh_3
$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{NH}^-$ ($\text{S}_\text{N}2$)	Na , NH_3
CN^- ($\text{S}_\text{N}2$)	LiAlH_4
CN^- ($\text{S}_\text{N}2$)	H_2 , Ni
	KOH , H_2O
NO_2^- ($\text{S}_\text{N}2$)	LiAlH_4
NO_2^- ($\text{S}_\text{N}2$)	H_2 , Ni
NO_2^- ($\text{S}_\text{N}2$)	Fe , $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$
NH_2CONH_2 ($\text{S}_\text{N}1$)	KOH , H_2O

II.A.17. Le spectre de résonance magnétique nucléaire du proton (RMN ^1H) du phosphate d'oséltamivir obtenu à 400 MHz dans le chloroforme deutéré (CDCl_3) présente, entre autres, un signal doublet d'intégration 1H et de constante de couplage $^3J = 2,1 \text{ Hz}$ au déplacement chimique $\delta = 6,87 \text{ ppm}$ (partie par million). Attribuer ce signal à un ou des atomes d'hydrogène caractéristique(s) du phosphate d'oséltamivir. Justifier la multiplicité.

Partie B - Modification de Karpf et Trussardi

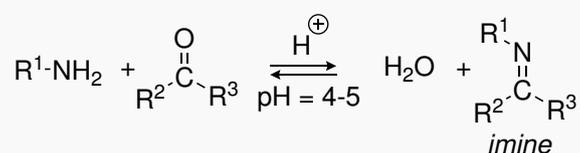
Une modification de la synthèse industrielle de l'oséltamivir, développée en 2001 par KARPf et TRUSSARDI, permet d'éviter l'emploi d'azotures souvent dangereux à manipuler. L'imine **14** est tout d'abord préparée à partir de l'intermédiaire **7** (figure II.6).



II.B.1. À l'aide du document II.4, proposer un réactif **13** permettant d'obtenir l'imine **14** à partir de l'amine **12**. Rappeler brièvement le principe du DEAN-STARK, le schématiser et justifier son utilisation dans le cas de la formation de l'imine **14**.

Document II.4 : formation des imines

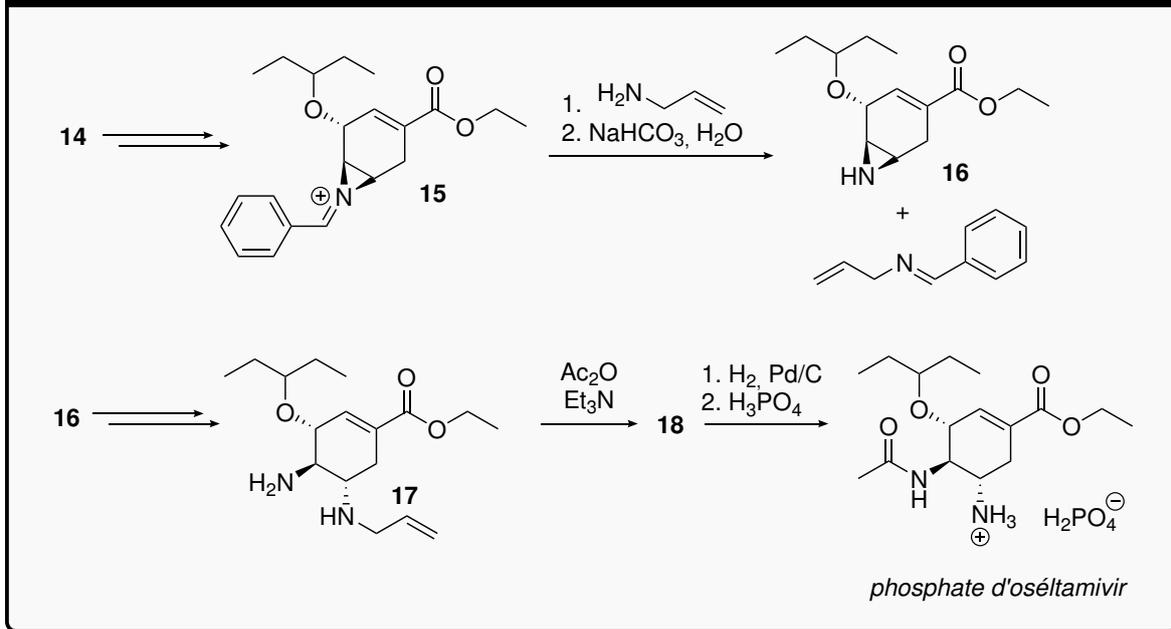
Les imines sont des analogues azotés des aldéhydes et des cétones. Ces composés, possédant une double liaison carbone-azote, sont classiquement obtenus par réaction de condensation des aldéhydes et des cétones avec des amines primaires. Cette condensation équilibrée est généralement conduite en présence d'une quantité catalytique d'acide, la vitesse de la réaction passant par un maximum pour un pH voisin de 4-5 :



II.B.2. Déterminer le stéréodescripteur de la double liaison carbone-azote de l'imine **14** (de même type que la double liaison carbone-carbone). Justifier.

La suite de la synthèse permet d'accéder au phosphate d'oséltamivir en quelques étapes décrites en figure II.7

Figure II.7 : synthèse du phosphate d'oséltamivir



II.B.3. Proposer un mécanisme réactionnel rendant compte de la formation de l'aziridine **16** à partir de l'intermédiaire **15**.

II.B.4. Représenter le produit **18**.

Fin de l'énoncé

Données

- *Espèces chimiques organiques utiles :*
- *Constante des gaz parfaits :* $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- *Nombre d'AVOGADRO :* $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- *Produit ionique de l'eau à 25 °C :* $K_e = 10^{-14}$
- $\frac{RT}{F} \ln(10) \approx 0,06 \text{ V}$
- *Capacité thermique massique de l'eau liquide :* $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$.
- *Potentiels rédox standard à 25 °C et pH nul :*

couple	$\text{H}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_2(\text{g})$	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}_{(\text{aq})}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(\text{aq})}$	$\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-_{(\text{aq})}$	$\text{Cl}_2(\text{g})/\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$	$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\ell)$	$\text{ClO}^-_{(\text{aq})}/\text{Cl}_2(\text{g})$
E° / V	0,00	0,10	0,50	1,40	1,23	2,00

- *Enthalpies standard de formation à 25 °C :*

espèce	$\text{S}_{(\text{s})}$	$\text{Zn}_{(\text{s})}$	$\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}_{(\text{aq})}$	$\text{ZnS}_{(\text{s})}$	$\text{HS}^-_{(\text{aq})}$	$\text{H}_2\text{O}(\ell)$	$\text{HO}^-_{(\text{aq})}$
$\Delta_f H^\circ / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$			-1500	-203	-18	-285	-230
$S_m^\circ / \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	32	42	-30	58	63	70	-11

- *Masses molaires atomiques et numéro atomiques :*

élément ou espèce	symbole	Z	M / g · mol⁻¹
hydrogène	H	1	1,00
carbone	C	6	12,0
azote	N	7	14,0
oxygène	O	8	16,0
sodium	Na	11	23
silicium	Si	14	28,0
phosphore	P	15	31,0
soufre	S	16	32,1
chlore	Cl	17	35,5
zinc	Zn	30	65,4
fer	Fe	26	55,8
iode	I	53	126,9

- *Rayons ioniques :*

ion	S^{2-}	Zn^{2+}
rayon ionique / pm	184	74,0

- *Paramètre de maille du cristal de type blende ZnS :* $a = 541 \text{ pm}$.
- *Électronégativités (échelle de PAULING) :*

H							He
2,1							0
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	0
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	3,0	0

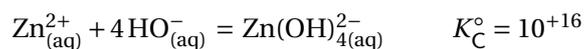
- Constantes d'acidité :

couple	$\text{CO}_{2(\text{aq})}/\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-$	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq})}/\text{HS}_{(\text{aq})}^-$	$\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-/\text{CO}_{3(\text{aq})}^{2-}$	$\text{HS}_{(\text{aq})}^-/\text{S}_{(\text{aq})}^{2-}$
pK_a	6,3	7,0	10,3	13

- Constantes de solubilité :

solide	$\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{s})}$	$\text{ZnS}_{(\text{s})}$
pK_s	17	20

- Constante thermodynamique d'équilibre particulière :



- Données de spectroscopies RMN ¹H :

Domaines de déplacements chimiques pour quelques types de protons par rapport au signal de référence des protons du tétraméthylsilane (CH₃)₄Si

type de proton	δ / ppm	type de proton	δ / ppm
-CH-C	0,8 à 1	-CH-X	2,5 à 4
-CH-C-C-X	0,8 à 1,2	-CH-O-C=O	3,7 à 4,8
-CH-C=C-	1,6 à 2,2	H ₂ C=C ⁻	4,5 à 5,3
-CH-C-X	1 à 1,8	Ar-H	6 à 8
-CH-C-CN	2 à 3	R-NH ⁻	1 à 5
HC≡C ⁻	2,3 à 3,2	R-OH	1 à 6
-CH-C=O	2 à 2,7	CO-NH ⁻	5,5 à 8,5
-CH-Ar	2,3 à 3	H-CO-N	8
-CH-O	3 à 4	R-CHO	9,5 à 9,9
-CH-O-Ar	3,7 à 4,3	R-COOH	10 à 13