

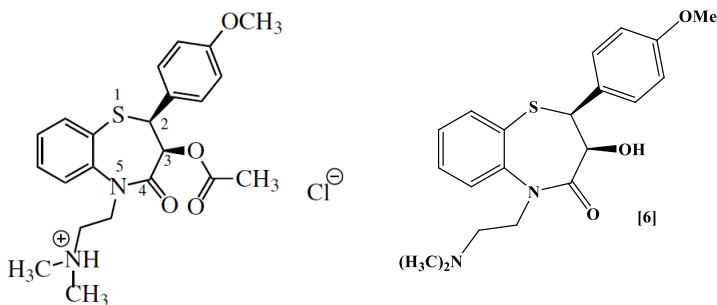
PC* 2025 /2026

Bellevue

TD 10 : Réactivité des acides carboxyliques et dérivés d'acide

I- Pour s'entraîner après avoir appris le cours (corrigés disponibles sur PrepaBellevue)**Q1.** Indiquer les méthodes de préparation des acides carboxyliques connues à ce jour .

Q2. La structure moléculaire du Diltiazem (sous forme de chlorhydrate) est représentée ci contre . Cette molécule freine l'entrée du calcium transmembranaire au niveau de la fibre musculaire myocardique . Ce médicament augmente le débit coronaire et est utilisé dans la prise en charge des angines de poitrine, de l'hypertension artérielle, des ischémies myocardiques et des tachycardies



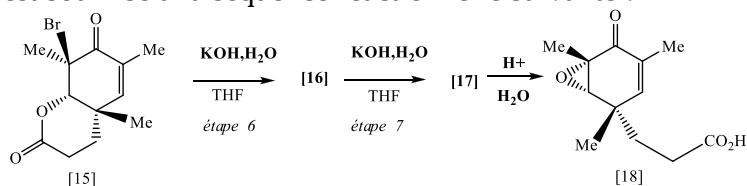
Le Diltiazem peut être obtenu à partir du composé [6] : le produit [6] est mis à réagir avec de l'anhydride acétique pendant 5 heures à 100 °C. On obtient le Diltiazem après extraction et purification.

- Donner le mécanisme de la réaction de formation du Diltiazem à partir de [6] et d'anhydride acétique.
- D'une manière générale, les réactions de formation d'ester à partir d'alcool et d'un anhydride d'acide sont réalisées en présence d'une base. Pour quelle raison la présence d'une base n'est-elle pas indispensable ici ?
- Lorsque la réaction est effectuée en présence d'une base, on obtient le Diltiazem et un peu d'un diastéréoisomère.

Donner la structure de ce diastéréoisomère et proposer un mécanisme expliquant sa formation.

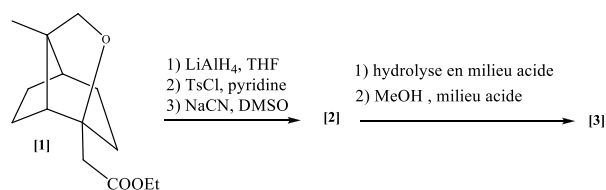
- Quelle réaction doit-on effectuer pour obtenir le chlorhydrate de Diltiazem ?

Q3. La bromolactone **15** est soumise à la séquence réactionnelle suivante :



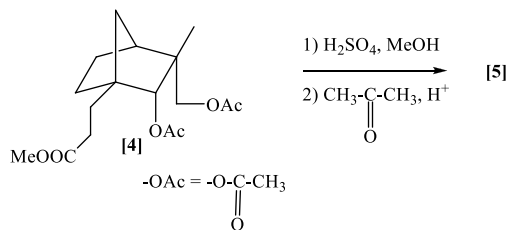
Déterminer les formules des composés [16] et [17] et proposer un mécanisme pour leur formation .

Q4. On envisage la séquence réactionnelle suivante :



Donner les formules des composés [2] et [3] .

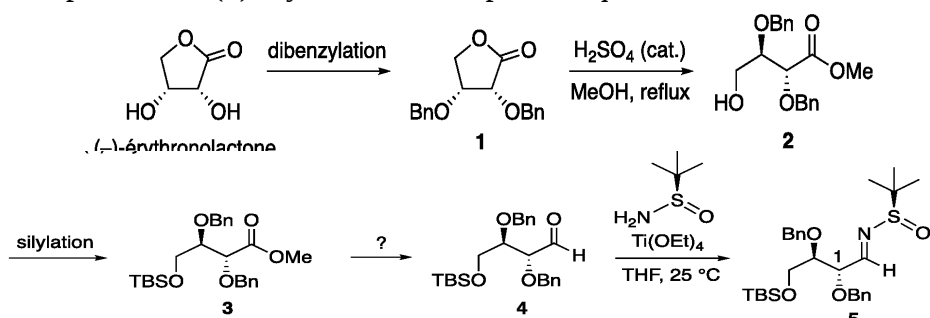
Par une étape non étudiée, le composé [4] est synthétisé à partir de la molécule [3]. Il est ensuite soumis au traitement ci-dessous :



Donner la formule du composé [5] ?

Qu'aurait-on obtenu sans le méthanol dans la première étape ?

Q5. La synthèse de l'intermédiaire 1 nécessite la préparation de la *N*-*tert*-butylsulfinylimine 5 qui peut être obtenue à partir de la (–)-érythronolactone par la séquence réactionnelle suivante :

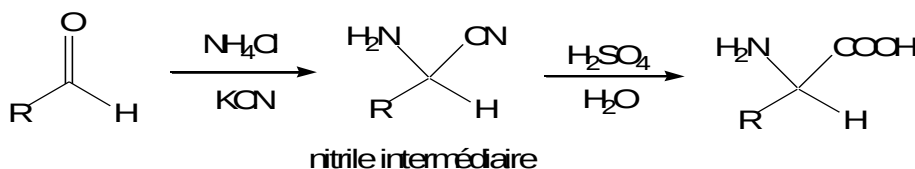


1. Proposer un mécanisme rendant compte de la transformation 1 → 2.

2. Proposer des conditions opératoires pour la transformation 3 → 4.

Attribuer le descripteur stéréochimique *R* ou *S* de l'atome de carbone asymétrique d'indice de position 1 noté sur la structure de l'espèce 5. Justifier la réponse.

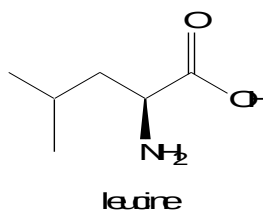
Q6. La synthèse de Strecker est la voie communément admise pour la formation des acides aminés. Cette suite réactionnelle a été découverte par Adolph Strecker en 1850.



Deux mécanismes de formation du nitrile intermédiaire ont été trouvés sur deux sites différents. Les deux mécanismes ont été recopiés tels quels, sans aucune modification, dans le document n°4.

1) En une quinzaine de lignes, commenter et exercer un regard critique sur les deux mécanismes relevés.

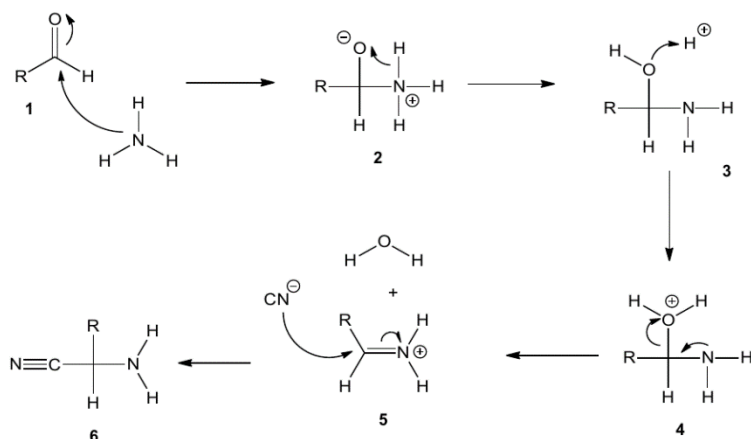
2) Représenter et nommer l'acide aminé obtenu à partir du méthanal. Représenter le dérivé carbonylé qui permet d'obtenir la leucine.



Document n°4

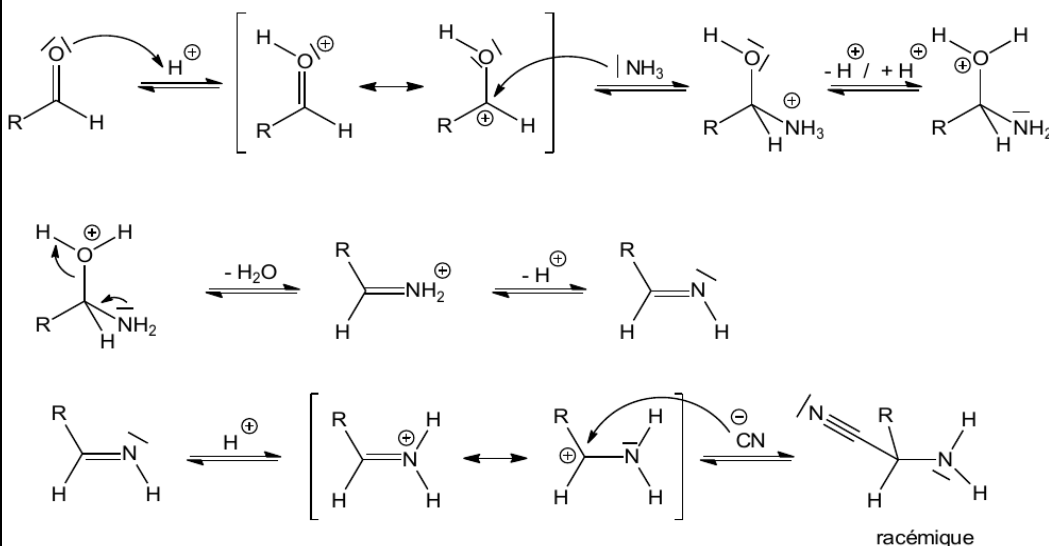
Mécanisme extrait du site wikipédia article « synthèse de Strecker ».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Synth%C3%A8se_de_Strecker



Mécanisme extrait du site Organic Chemistry.

<http://www.organic-chemistry.org/namedreactions/strecker-synthesis.shtm>

**Q7. Sujet Centrale -saponification**

Les huiles végétales sont constituées de triglycérides, c'est-à-dire de triesters formés à partir du glycérol et d'acides gras (acides carboxyliques à longue chaîne carbonée). Elles sont utilisées depuis l'Antiquité pour la fabrication des savons par hydrolyse basique des fonctions ester (hydrolyse basique appelée saponification dans ce contexte). La sous-partie I.A consiste en l'étude d'un protocole expérimental de saponification. La sous-partie I.B présente les expériences qui ont prévalu au choix du mécanisme de la réaction d'hydrolyse basique des esters.

I.A – Étude d'un protocole expérimental de saponification

La synthèse de l'oléate de sodium à partir du trioléate de glycérol peut être décrite par l'équation donnée figure 1.

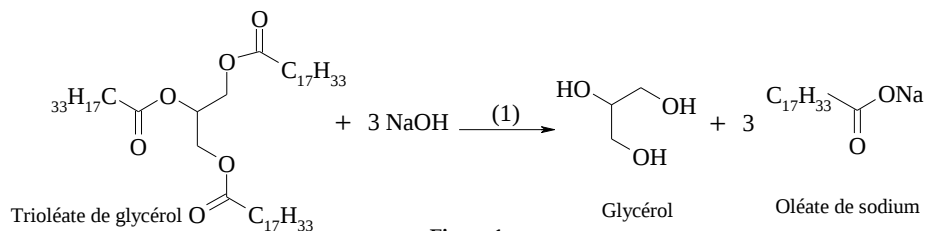


Figure 1

On se propose d'étudier le protocole expérimental décrit ci-après.

- Dans un ballon tricol surmonté d'un réfrigérant, d'une ampoule de coulée et d'un thermomètre, introduire 10 g d'hydroxyde de sodium en pastilles,
- puis 30 mL d'eau. Agiter.
- Attendre que la température redescende à la température de la pièce, puis introduire 0,4 g de bromure de tétrabutylammonium (figure 2).
- Introduire enfin 40 g d'huile d'olive (assimilée à du trioléate de glycérol pur), puis chauffer à reflux sous agitation forte pendant 30 minutes.
- Laisser refroidir le milieu, puis verser le contenu du ballon dans un bécher contenant 100 mL de solution aqueuse saturée en chlorure de sodium. Le savon solide apparaît. Écraser les morceaux de savon. Filtrer sur Büchner.
- Introduire à nouveau le savon dans 100 mL de solution aqueuse saturée en chlorure de sodium. Agiter quelques minutes et filtrer sur Büchner.
- Rincer le solide avec de l'eau glacée. L'eau de rinçage doit avoir un pH voisin de 9.
- Le savon (oléate de sodium) est ensuite laissé dans une étuve à 60 °C jusqu'à ce que sa masse n'évolue plus. La masse finale de produit obtenu est de 24,1 g.

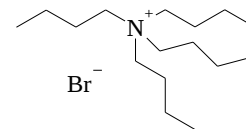


Figure 2 : Bromure de tétrabutylammonium

I.A.1) Faire un schéma annoté du montage utilisé dans cette synthèse et justifier son choix.

I.A.2) Le bromure de tétrabutylammonium est ajouté au mélange réactionnel comme catalyseur. Il s'agit d'un catalyseur à transfert de phase, c'est-à-dire servant à transférer une espèce chimique d'une phase à une autre. Proposer un mécanisme, sous forme de schémas, permettant de rendre compte de cette propriété dans le cas de la synthèse considérée.

I.A.3) Pourquoi l'utilisation d'une solution aqueuse saturée en chlorure de sodium est-elle préférable à celle d'eau pure ?

I.A.4) Quel est le rôle du rinçage à l'eau glacée ?

I.A.5) Déterminer la valeur du rendement de cette synthèse. Proposer une interprétation à cette valeur.

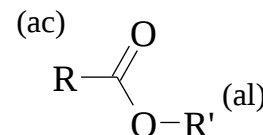


Figure 3

I.B – Mécanisme de la réaction d'hydrolyse basique des esters¹

L'élucidation du mécanisme de l'hydrolyse basique des esters a occupé les scientifiques pendant la première moitié du XX^e siècle. Cinq mécanismes (reproduits dans le document réponse) ont été proposés pour cette réaction. Deux possibilités de rupture de liaison C–O y sont envisagées : soit au niveau du groupement acyle, voie notée (ac) ci-après, soit au niveau du groupement alkyle, voie notée (al).

L'objectif de cette partie est d'analyser les résultats expérimentaux qui ont permis à la communauté scientifique de choisir un mécanisme pour rendre compte de cette réaction.

I.B.1) Étude des cinq mécanismes proposés²

- a) Pour les mécanismes 1, 2 et 3, attribuer à chaque étape un qualificatif parmi la liste suivante : réaction acido-basique (AB), addition nucléophile (A_N) ou électrophile (A_E), élimination (E), substitution nucléophile (S_N) ou électrophile (S_E) et l'indiquer dans la case correspondante sur le document réponse.
- b) Compléter par des flèches courbes les mécanismes 1, 2 et 3 représentés sur le document réponse.

¹ Smith M. B., March J., *Advanced Organic Chemistry*, Wiley, 6^{ème} édition, 2007, p. 1400.

² Ingold C. K., *Structure and Mechanism in Organic Chemistry*, 2^{ème} édition, Cornell University Press, 1969, p. 1129.

- c) Compléter, sur le document réponse, le plus précisément possible, le diagramme d'énergie potentielle associé au mécanisme 1. Comparer les énergies potentielles d'activation des différentes étapes. Conclure.
- d) Parmi les cinq mécanismes proposés, indiquer ceux qui correspondent à une coupure acyle et ceux qui correspondent à une coupure alkyle.

I.B.2) Validation expérimentale du mécanisme d'hydrolyse basique des esters

Les résultats de quelques études expérimentales réalisées entre 1900 et 1950 sont rassemblés ci-après.

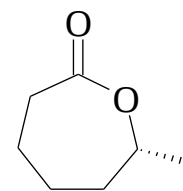


Figure 4

– *Étude cinétique*

La cinétique de la réaction d'hydrolyse basique des esters a un ordre global égal à 2 (ordres partiels 1 pour l'ester et 1 pour l'ion hydroxyde).

– *Étude stéréochimique*³

La saponification de l'ester cyclique de la figure 4 fournit un stéréosiomère unique de configuration R.

– *Étude par marquage isotopique*⁴

L'hydrolyse basique de l'éthanoate de n-pentyle (éthanoate d'amyne) par une solution de soude concentrée à 70 °C est conduite soit avec de l'eau « normale », soit avec de l'eau enrichie en oxygène ¹⁸O. Le temps de réaction est identique dans les deux cas. Après purification des produits, leurs densités sont comparées.

Seule la densité de l'acide éthanoïque est augmentée dans le cas d'une utilisation d'eau enrichie en ¹⁸O, celle de l'alcool amylique restant inchangée. Pour information, l'oxygène possède deux isotopes stables dont les abondances naturelles sont de l'ordre de 0,20% pour ¹⁸O et 99,8% pour ¹⁶O.

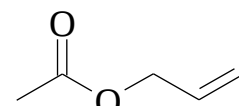


Figure 5

– *Étude d'Ingold*⁵

L'hydrolyse basique menée sur le composé de la figure 5 fournit un alcool unique.

- a) Montrer que les résultats de ces études expérimentales permettent d'invalider certains mécanismes proposés.

Indiquer une étude invalidant chacun des mécanismes rejetés et rédiger une argumentation succincte.

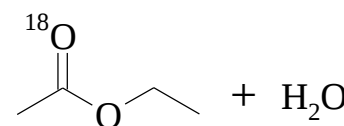


Figure 6

- b) Montrer que deux mécanismes sont compatibles avec les résultats expérimentaux précédents. Une justification succincte est attendue.

– *Étude de Bender*⁶

Bender a procédé à l'hydrolyse basique d'esters préalablement marqués par ¹⁸O au niveau de l'atome d'oxygène de la double liaison C=O.

L'hydrolyse est réalisée en présence d'un défaut d'eau de manière à ne convertir qu'une partie de l'ester. L'ester restant à la date *t* est isolé. Sa composition isotopique est alors comparée à celle de l'ester initialement utilisé. Bender constate une forte diminution du rapport ¹⁸O/¹⁶O dans l'ester restant.

- c) Quel mécanisme est compatible avec ce résultat ?

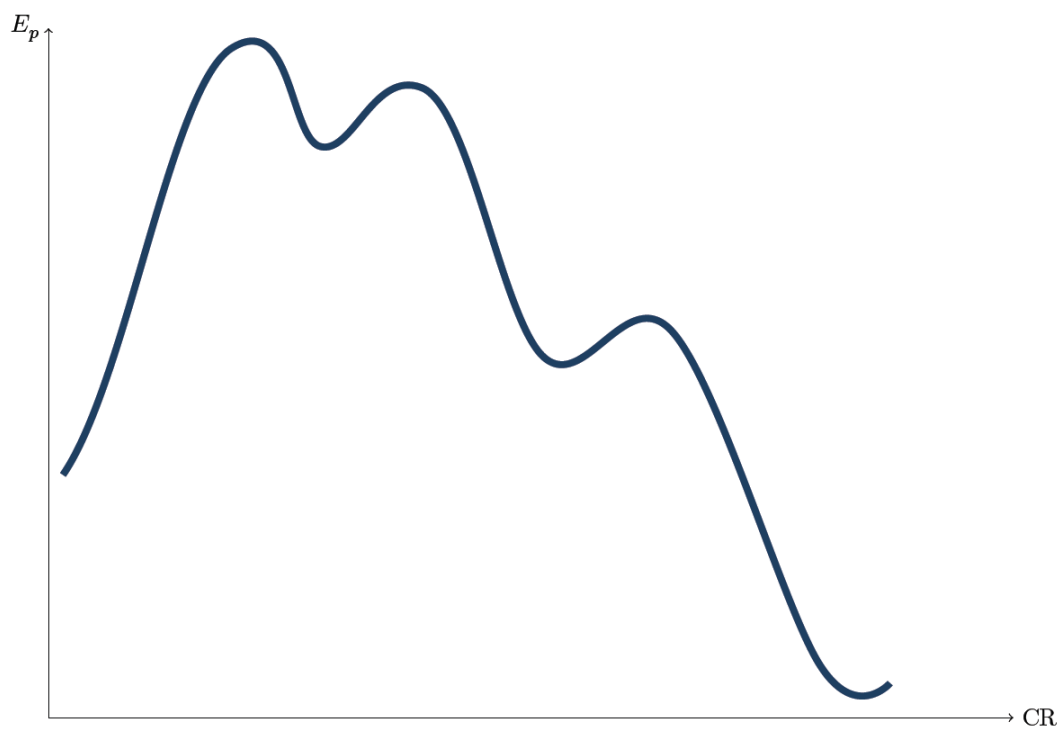
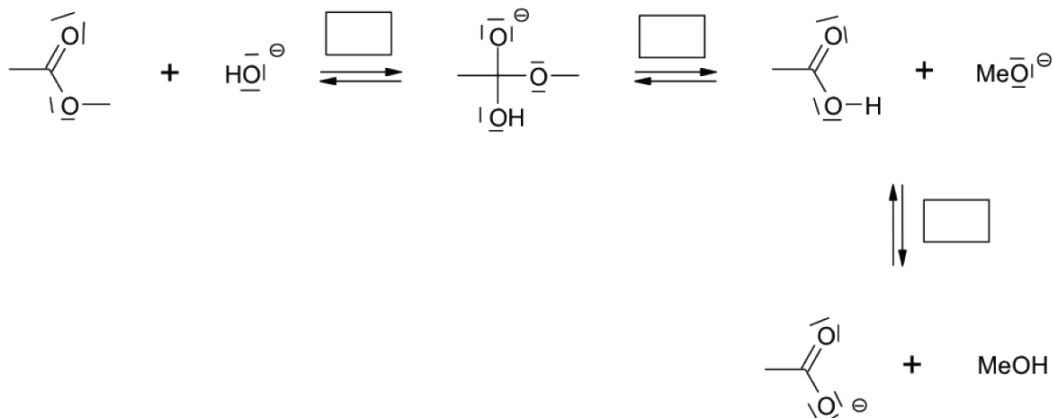
- d) Justifier le fait que le mécanisme retenu est bien compatible avec la diminution du rapport isotopique dans l'ester

Annexes

Mécanismes postulés pour l'hydrolyse basique de l'éthanoate de méthyle

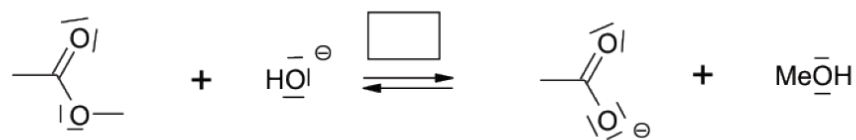
Toutes les étapes de ces mécanismes ont été représentées.

Mécanisme 1

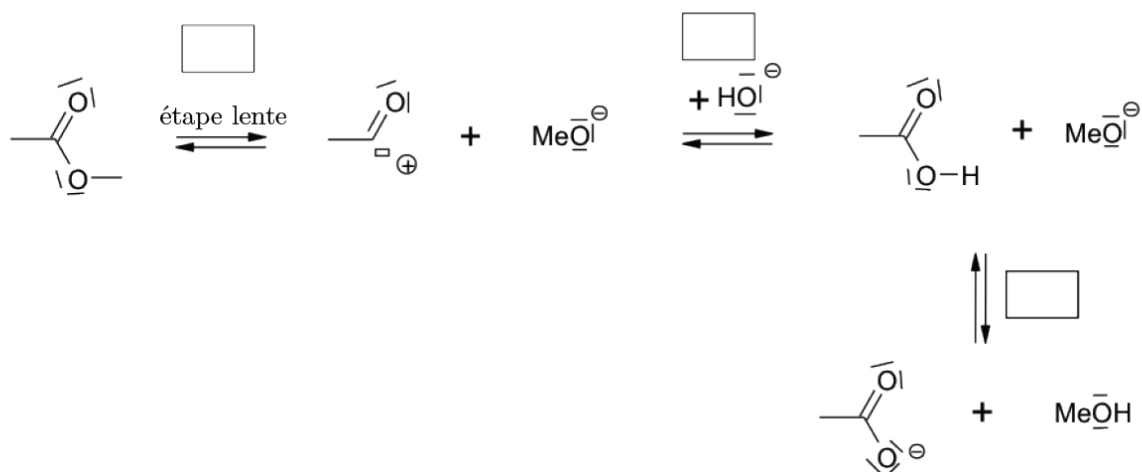


Allure du diagramme d'énergie potentielle en fonction de la coordonnée de réaction pour le mécanisme 1

Mécanisme 2



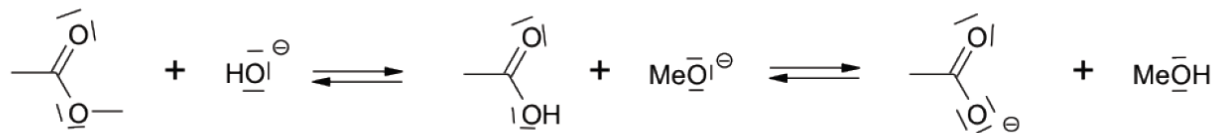
Mécanisme 3



Mécanisme 4

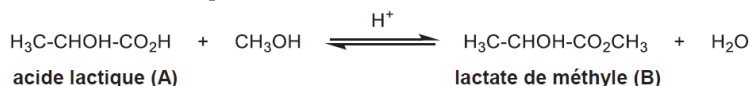


Mécanisme 5



II. Exercices

Exercice 1 : On s'intéresse aux caractéristiques de la réaction d'estérification dont le bilan réactionnel est le suivant :



Document 4 : *Protocole d'estérification de l'acide lactique en lactate de méthyle*

A une solution d'acide (-)-lactique (2,79 g, 31,0 mmol) dans le méthanol (100 mL, 2,47 mol) est ajouté de l'acide sulfurique H₂SO₄ (0,17 mL, 3,1 mmol). Le mélange réactionnel est chauffé au reflux pendant 16 h. Après refroidissement l'excès de méthanol est évaporé sous pression réduite et le résidu est dissous dans de l'éther diéthylique. La phase organique est lavée avec une solution aqueuse saturée en hydrogénocarbonate de sodium NaHCO₃ puis séchée sur sulfate de magnésium MgSO₄ anhydre. Après filtration et concentration sous pression réduite, le lactate de méthyle est obtenu sous forme d'une huile incolore (3,21 g, 30,8 mmol, rendement > 99 %).

1. Sachant que la plupart des réactions ont des enthalpies standards de réaction de l'ordre de quelques centaines de kJ.mol⁻¹ (en valeur absolue), commenter la valeur d'enthalpie standard de réaction pour la réaction étudiée (**document 5**). En déduire l'influence de la température sur la position de l'équilibre d'estérification.

Document 5 : *Données thermodynamiques pour l'estérification de l'acide lactique en lactate de méthyle à 25 °C*

Enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	- 1,86
Enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	- 3,45

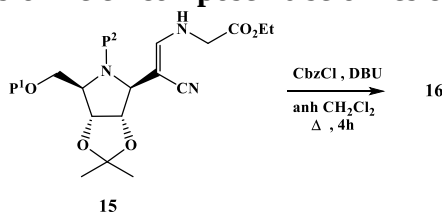
2. Calculer la constante d'équilibre de la réaction à 25 °C.

En déduire le rendement en lactate d'éthyle si les réactifs (acide lactique et méthanol) étaient introduits en proportions stoechiométriques.

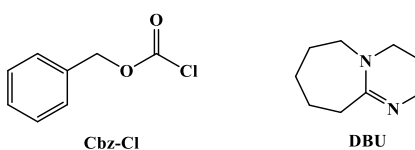
3. Expliquer en quoi les conditions opératoires utilisées dans le **document 4** permettent de favoriser cinétiquement et thermodynamiquement la formation du lactate de méthyle **B** à partir de l'acide lactique.

4. Écrire le mécanisme réactionnel de formation de **B** à partir d'acide lactique **A** et du méthanol. On mettra en évidence le rôle du catalyseur acide.

Exercice 2. Le composé **15** est transformé en composé **16** selon les conditions indiquées ci-dessous :



Le chloroformiate de benzyle Cbz-Cl a une réactivité analogue au chlorure d'acyle correspondant (figure 16). Le DBU est une base non nucléophile de pK_a voisin de 10.



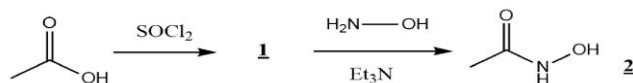
Structure du chloroformiate de benzyle Cbz-Cl et de la base DBU.

Représenter le mécanisme réactionnel correspondant à l'action de CbzCl sur le composé **15** et donner la structure du produit ainsi protégé.

Exercice 3. Proposer un mécanisme pour l'hydrolyse d'un nitrile avec une catalyse acide et une catalyse basique.

Exercice 4 : Synthèse de la fonction hydroxylamide

La fonction hydroxylamide peut être synthétisée à partir d'un acide carboxylique et de l'hydroxylamine suivant la séquence réactionnelle présentée ci-dessous.



17. Donner la structure du composé 1.

18. Identifier le problème que l'on rencontre lorsqu'on réalise la synthèse d'un amide à partir d'un acide carboxylique et d'une amine, puis justifier la stratégie de synthèse mise en œuvre pour synthétiser l'hydroxylamide 2.

19. Par analogie avec la synthèse d'un amide, proposer un mécanisme pour la transformation du composé 1 en composé 2.

20. On peut également synthétiser des hydroxylamides à partir d'ester. Proposer une voie de synthèse (réactifs, conditions expérimentales, montage...) de l'éthanoate de méthyle à partir de l'acide éthanoïque permettant d'obtenir l'ester avec un bon rendement.

Exercice 6 :

Le schéma de préparation d'une radiosonde au cuivre-64 est représenté sur la figure 1a à partir du précurseur **PPC-DOTA**. Ce dernier est obtenu à partir du pentapeptide cyclique artificiel **PPC** et du macrocycle **DOTA** (figure 1b) en vue d'un radioétiquetage par complexation avec des ions $^{64}\text{Cu}^{2+}$.

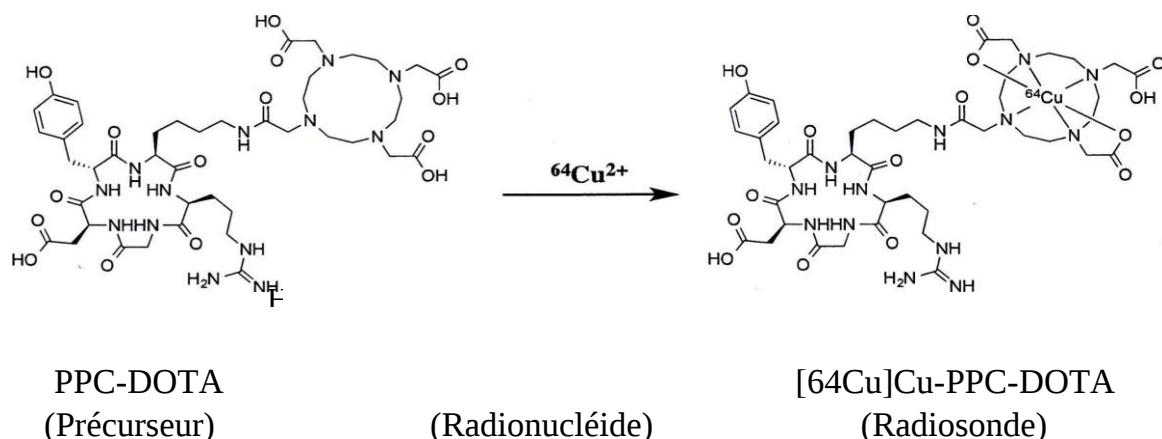


Figure 1a : Schéma d'obtention d'une radiosonde au cuivre-64

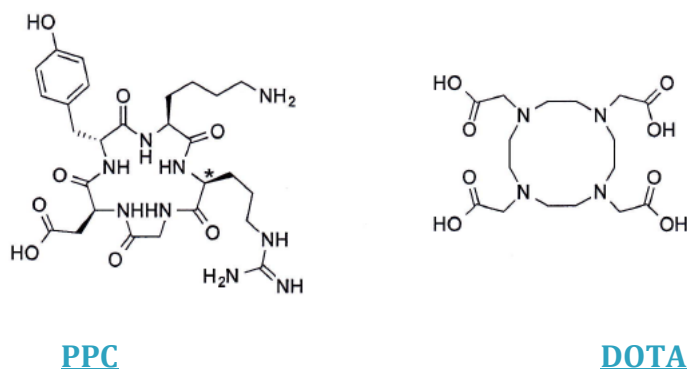


Figure 1b : Structure des composés PPC et DOTA

1. Identifier le descripteur stéréochimique du carbone marqué par une étoile dans la structure du **PPC** présentée sur la figure 1b. Une justification rapide est attendue.

2. Déterminer le nombre de stéréoisomères possibles pour le **PPC**.

Pour répondre aux deux questions suivantes, une planche d'acides aminés standard, c'est-à-dire encodés directement par le code génétique, est fournie sur la **figure 2**.

3. Préciser, pour chaque acide aminé présent dans la structure du composé **PPC**, s'il s'agit d'un acide aminé standard ou non.

4. Donner la séquence peptidique de **PPC** en code à une lettre, en commençant cette séquence par l'acide aminé marqué d'une étoile dans la structure de **PPC** présentée sur la **figure 1b**. Le caractère cyclique de ce pentapeptide sera mis en évidence en utilisant le préfixe « cyclo- », et les acides aminés non-protéinogènes seront représentés par une lettre minuscule, le cas échéant.

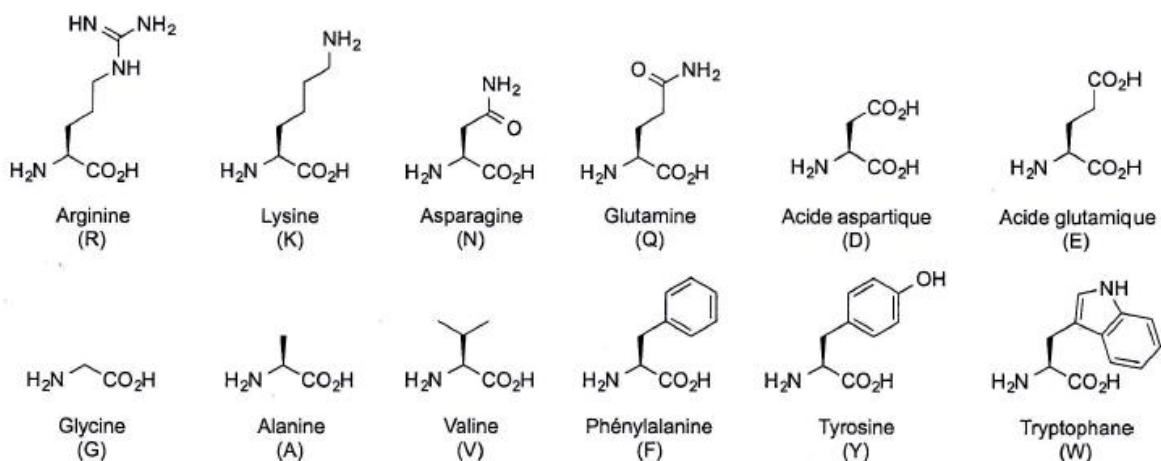


Figure 2 : Structures, noms triviaux, et codes à une lettre d'une sélection d'acides aminés standard

Exercice 7 : La protection d'une fonction amine peut s'effectuer en utilisant le dicarbonate de di-tert-butyle noté (Boc)₂O .

La déprotection de la fonction amine se fait dans des conditions très douces par traitement avec CF₃CO₂H à froid.

Cette déprotection a lieu en deux étapes (schéma 6) :

