



---

Prof. Holger Frauenrath                      Phone: + 41 21 693 7396  
EPFL – STI – IMX – LMOM, Station 12      Fax: + 41 21 693 5270  
1015 Lausanne, Switzerland                E-mail : holger.frauenrath@epfl.ch

**Organic Chemistry (MSE-211)**  
**Examination Fall 2025**

**Name:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ / **100 points in total**

Anything not written with a pen will not be considered!

*Tout ce qui n'est pas écrit au stylo ne sera pas pris en compte!*

In case of a difference between the French and English versions, the English version is valid.

*En cas de différence entre le français et l'anglais, l'anglais fait foi.*

## Question 1 (10 points)

Formation of covalent bonds can be understood with the help of molecular orbital diagrams.

*La formation des liaisons covalentes peut être comprise à l'aide des diagrammes d'orbitales moléculaires.*

- a. Give the electronic configurations of carbon and nitrogen in their ground state. (1 point)  
*Donnez les configurations électroniques du carbone et de l'azote dans leur état fondamental.*

**${}_6\text{C}: 1s^2 2s^2 2p^2$**

**${}_7\text{N}: 1s^2 2s^2 2p^3$**

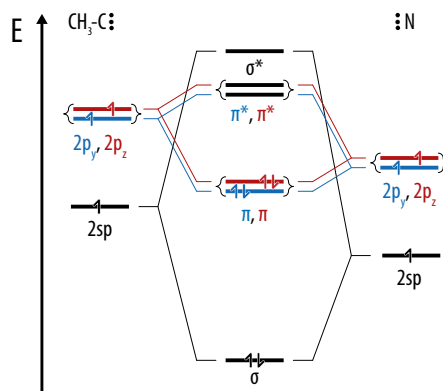
- b. What are the hybridization states of all carbon and nitrogen atoms in acetonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ )? Very briefly explain your choices and comment on the geometry! (3 points)

*Quels sont les états d'hybridation de tous les atomes de carbone et d'azote dans l'acétonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ )? Expliquez (brièvement) ton choix et commentez la géométrie!*

**The hybridization of methyl carbon is  $sp^3$ , as it bonds to three hydrogen atoms and one carbon atom (tetrahedral geometry), while the hybridization of the other carbon is  $sp$  (linear geometry), as it bonds only to one other carbon and nitrogen. The hybridization of nitrogen is also  $sp$  (linear geometry), as it bonds only to one carbon and has one electron lone pair.**

- c. Draw the molecular orbital diagram of acetonitrile considering only the carbon-nitrogen bonds. (4 points)

*Tracez le diagramme des orbitales moléculaires de l'acétonitrile en ne considérant que les liaisons carbone-azote.*



- d. Compare and explain the relative energies of the constituting atomic orbitals and comment on their respective contributions to the resulting molecular orbitals. (2 points)

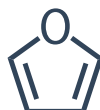
*Comparez et expliquez les énergies des orbitales atomiques constitutives et commentez leurs contributions respectives aux orbitales moléculaires résultantes.*

**The orbitals of the more electronegative nitrogen atom are lower in energy than the corresponding orbitals of the carbon atom. The orbitals of the nitrogen atom will contribute more to the bonding molecular orbitals, while the orbitals of the carbon atom will contribute more to the anti-bonding orbitals.**

## Question 2 (15 points)

Furan (oxacyclopentadiene) is a planar “heterocyclic” compound (a cyclic compound that has a non-carbon atom as a part of the ring). Furan is used as a precursor for many useful organic compounds. Its structure is given here:

*Le furane (oxacyclopentadiène) est un composé « hétérocyclique » plan (un composé cyclique dans lequel un atome non carboné fait partie du cycle). Le furane est utilisé comme précurseur de nombreux composés organiques utiles. Sa structure est donnée ci-dessous:*



- a. How many  $\pi$  orbitals and how many  $\pi$  electrons are there in furan? (2 points)

*Combien y a-t-il d'orbitales  $\pi$  et combien d'électrons  $\pi$  dans le furane?*

**There are 5  $\pi$  orbitals and 6  $\pi$  electrons.**

- b. In what type of atomic or hybrid orbitals are the electron lone pairs of the oxygen atom? (1 point)

*Dans quel type d'orbitales atomiques ou hybrides se trouvent les doublets non liants de l'atome d'oxygène?*

**One lone pair is in hybrid  $sp^2$  orbital and the other one is in 2p atomic orbital.**

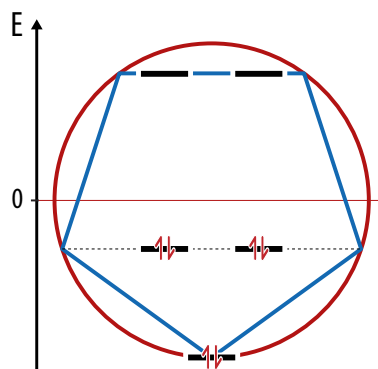
- c. Is furan aromatic? State all the criteria that you considered and give the name of the rule that you used to make the final decision. (2 points)

*Le furane est-il aromatique ? Énoncez tous les critères que vous avez pris en compte et donnez le nom de la règle utilisée pour parvenir à la décision finale.*

**Furan is a cyclic planar compound with 6  $\pi$  electrons. Hence, according to the Hückel rule it is aromatic.**

- d. Draw a simplified MO diagram of furan. Consider only  $\pi$  orbitals and schematically justify the energy levels you have assigned to the different MO. (2 points)

*Tracez un diagramme simplifié des orbitales moléculaires du furane. Ne considérez que les orbitales  $\pi$  et justifiez schématiquement les niveaux d'énergie que vous avez attribués aux différentes OM.*



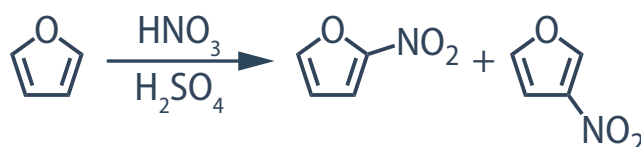
The numbering of atoms in the cycle always starts from the hetero atom – in case of furan oxygen is always assigned the position 1 (see below). The other rules are the same as for the non-cyclic compounds.

*La numérotation des atomes du cycle commence toujours par l'hétéroatome — dans le cas du furane, l'oxygène est toujours attribué à la position 1 (voir ci-dessous). Les autres règles sont les mêmes que pour les composés non cycliques.*



Furan can undergo a chemical transformation in presence of the mixture of nitric and sulfuric acid to yield 2-nitrofurane and 3-nitrofurane.

*Le furane peut subir une transformation chimique en présence d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique pour donner le 2-nitrofurane et le 3-nitrofurane.*



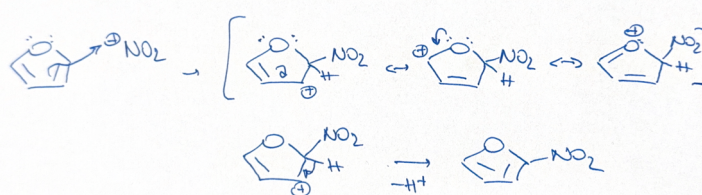
- e. What is precisely the name of this reaction type? (1 point)

*Quel est précisément le nom de ce type de réaction?*

**This is an electrophilic aromatic substitution.**

- f. Show the mechanism for obtaining 2-nitrofurane. Show all the relevant resonance structures of the intermediate. (2 points)

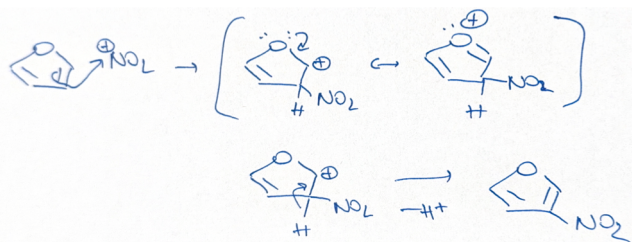
*Montrez le mécanisme d'obtention du 2-nitrofurane. Représentez toutes les structures de résonance pertinentes de l'intermédiaire.*



**This is electrophilic aromatic substitution.**

- g. Show the mechanism for obtaining 3-nitrofurane. Show all relevant resonance structures of the intermediate. (2 points)

*Montrez le mécanisme d'obtention du 3-nitrofurane. Représentez toutes les structures de résonance pertinentes de l'intermédiaire.*



**This is electrophilic aromatic substitution.**

- h. Based on the stability of the formed intermediates, discuss which one will be the major product, 2-nitrofurane or 3-nitrofurane. (1 point)

*En vous basant sur la stabilité des intermédiaires formés, discutez lequel sera le produit majoritaire : le 2-nitrofurane ou le 3-nitrofurane.*

**Since the intermediate in case of 2-nitrofurane is more stabilized by resonance, it is going to be the major product.**

Thiophene is an analogue of furan which has sulfur instead of the oxygen (structure is given below). Chemically it behaves similarly to furan.

*Le thiophène est un analogue du furane dans lequel l'oxygène est remplacé par le soufre (la structure est donnée ci-dessous). Sur le plan chimique, il se comporte de manière similaire au furane.*



- i. Discuss whether thiophene would be more or less reactive towards nitration when compared to furan. Give arguments for your answer. (2 points)

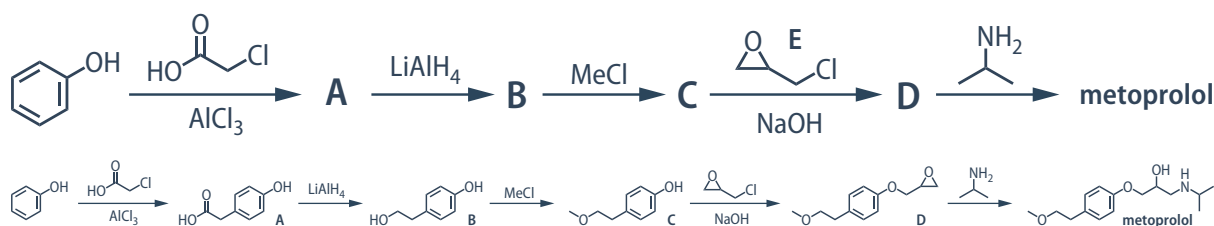
*Discutez si le thiophène serait plus ou moins réactif vis-à-vis de la nitration par rapport au furane. Donnez des arguments pour étayer votre réponse.*

**Since the valence electrons of sulfur are located in 3p orbital and its overlap with 2p orbitals of the C atoms is less efficient than in the case of oxygen (due to different size and shape), the furan ring is more activated for electrophilic aromatic substitution (stronger mesomeric effect), which is why thiophene is less reactive than furan.**

### Question 3 (15 points)

Metoprolol is a medication used to treat angina, high blood pressure and a number of conditions involving an abnormally fast heart rate. It is also used to prevent further heart problems after myocardial infarction and to prevent headaches in those with migraines. The synthetic route for obtaining metoprolol is given below.

*Le métoprolol est un médicament utilisé pour traiter l'angine de poitrine, l'hypertension artérielle et diverses affections impliquant une fréquence cardiaque anormalement élevée. Il est également utilisé pour prévenir d'autres problèmes cardiaques après un infarctus du myocarde et pour prévenir les céphalées chez les personnes souffrant de migraines. La voie de synthèse permettant d'obtenir le métoprolol est donnée ci-dessous.*



The first step is a reaction of phenol with chloroacetic acid in presence of aluminium chloride as a Lewis acid to yield **A**, which is then reduced with  $\text{LiAlH}_4$  to yield compound **B** ( $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$ ).

*La première étape est la réaction du phénol avec l'acide chloroacétique en présence de chlorure d'aluminium en tant qu'acide de Lewis pour donner le composé **A**, qui est ensuite réduit par le  $\text{LiAlH}_4$  pour donner le composé **B** ( $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$ ).*

- a. Draw the structures of **A** and **B** and give the names of the reactions via which they were obtained. (4 points)

*Dessinez les structures de **A** et de **B** et donnez le nom des réactions par lesquelles ils ont été obtenus.*

**A is obtained via electrophilic aromatic substitution (Friedel-Crafts alkylation) and B is obtained via nucleophilic addition to a carbonyl group.**

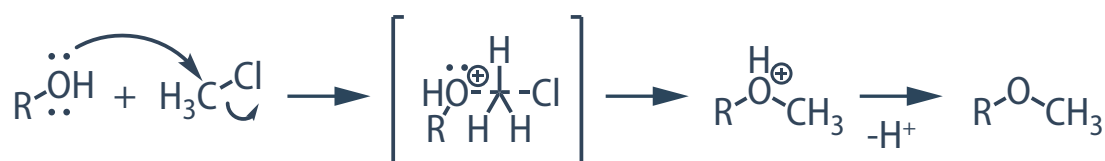
- b. Compound **B** is treated with methyl chloride to yield **C**. **C** is a substituted phenol. Draw the structure of **C** and give the name of the reaction in which **B** was converted to **C** (be precise). (2 points)

*Le composé **B** est traité par le chlorure de méthyle pour donner **C**. **C** est un phénol substitué. Dessinez la structure de **C** et donnez le nom de la réaction par laquelle **B** a été transformé en **C** (soyez précis).*

**This is a bimolecular nucleophilic substitution,  $\text{S}_{\text{N}}2$ .**

- c. Show the detailed mechanism of conversion of **B** to **C**. For simplicity, only in this task you may represent **B** as  $\text{R-OH}$ . (4 points)

*Montrez le mécanisme détaillé de la conversion de **B** en **C**. Pour simplifier, uniquement dans cette question vous pouvez représenter **B** sous la forme  $\text{R-OH}$ .*



- d. Compound **C** then reacts with the substituted epoxide **E** given in the scheme above in the presence of sodium hydroxide as a strong base to yield compound **D**. Molecular formula of compound **D** is  $C_{12}H_{16}O_3$ . Draw the structure of **D** and give the name of the reaction in which **C** was converted to **D** (be precise). Do not consider stereochemistry. (2 points)

*Le composé **C** réagit ensuite avec un époxyde substitué donné **E**, en présence d'hydroxyde de sodium comme base forte, pour donner le composé **D**. La formule moléculaire du composé **D** est  $C_{12}H_{16}O_3$ . Dessinez la structure de **D** et donnez le nom de la réaction par laquelle **C** a été transformé en **D** (soyez précis). Ne tenez pas compte de la stéréochimie.*

**This is bimolecular nucleophilic substitution  $S_N2$ .**

- e. Compound **D** is finally treated with isopropylamine to give **metoprolol**. Draw the structure of **metoprolol** and discuss the regioselectivity in this case. Do not consider stereochemistry. (3 points)

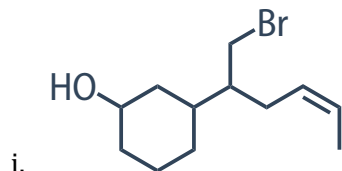
*Le composé **D** est finalement traité par l'isopropylamine pour donner le **métoprolol**. Dessinez la structure du **métoprolol** et discutez la régiosélectivité dans ce cas. Ne tenez pas compte de la stéréochimie.*

**This is nucleophilic opening of the epoxide ring, so the nucleophile will attack the less sterically hindered (less substituted) C atom.**

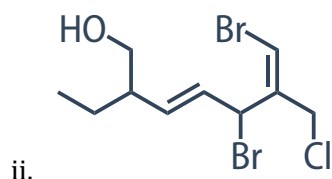
### Question 4 (10 points)

- a. Give the complete IUPAC names of the following compounds. (4 points)

*Donnez les noms IUPAC complets des composés suivants.*



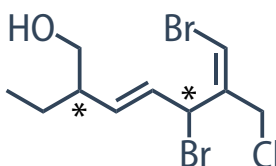
**(Z)-3-(1-bromohex-4-en-2-yl)cyclohexan-1-ol**



**(3E,6Z)-5,7-dibromo-6-(chloromethyl)-2-ethylhepta-3,6-dien-1-ol**

- b. Label all stereocenters in compound a-ii) with an asterisk. (2 points)

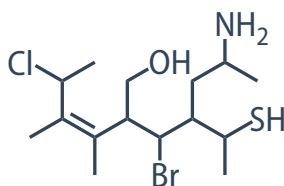
*Indiquez tous les centres stéréogènes dans le composé a-ii) à l'aide d'un astérisque.*



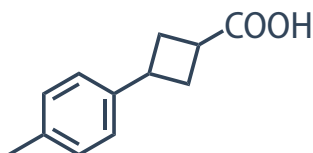
- c. Show the structures of the following compounds. (4 points)

*Représentez les structures des composés suivants.*

- iii. (Z)-6-amino-3-bromo-2-(4-chloro-3-methylpent-2-en-2-yl)-4-(1-mercaptoethyl)heptan-1-ol



- iv. 3-(4-methylphenyl)cyclobutylmethanoic acid



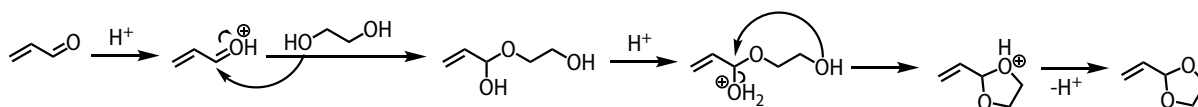
### Question 5 (15 points)

Acrolein (propenal) is the simplest unsaturated aldehyde. It can be formed by burning organic materials (wood, tobacco, fats) and it is responsible for the unpleasant smell of the burnt fat or cooking oil. It is a very useful chemical, as it is used as a precursor for synthesizing many industrially relevant compounds. In organic chemistry synthetic routes, it is sometimes necessary to protect some functional groups in order to avoid potential unwanted side reactions. One strategy for protecting a carbonyl group is by converting it to a (cyclic) acetal in reaction by reaction with a diol.

*L'acroléine (propénal) est l'aldéhyde insaturé le plus simple. Elle peut se former lors de la combustion de matières organiques (bois, tabac, graisses) et est responsable de l'odeur désagréable de la graisse ou de l'huile de cuisson brûlée. C'est un composé chimique très utile, car il est utilisé comme précurseur pour la synthèse de nombreux composés d'intérêt industriel. En synthèse organique, il est parfois nécessaire de protéger certains groupes fonctionnels afin d'éviter des réactions secondaires indésirables. Une stratégie de protection d'un groupe carbonyle consiste à le convertir en acétal (cyclique) par réaction avec un diol.*

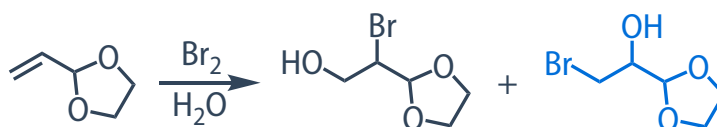
- a. Show the detailed mechanism of the reaction between acrolein (propenal) and ethylene glycol (1,2-ethanediol) in acidic medium, knowing that an acetal is formed. (5 points)

*Montrez le mécanisme détaillé de la réaction entre l'acroléine (propénal) et l'éthylène glycol (éthane-1,2-diol) en milieu acide, en sachant qu'un acétal est formé.*



- b. The obtained acetal can react with an aqueous solution of bromine to give two position isomers. Show the structures of those two products and discuss which is a major product and why. (4 points)

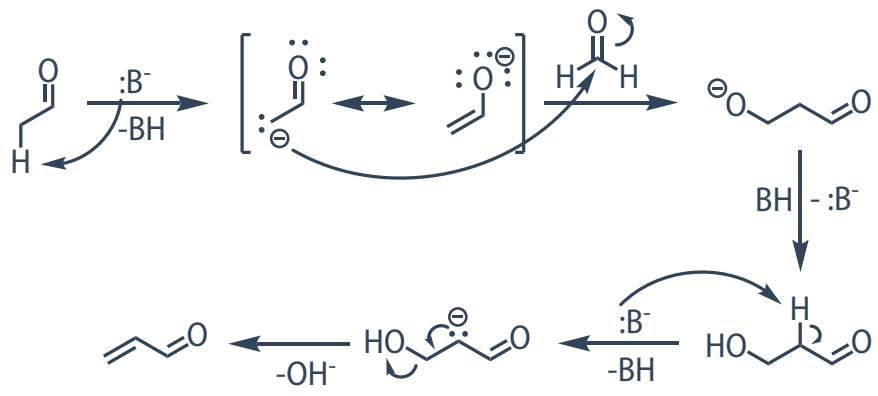
*L'acétal obtenu peut réagir avec une solution aqueuse de brome pour donner deux isomères de position. Représentez les structures de ces deux produits et discutez lequel est le produit majoritaire et pourquoi.*



**Due to higher stability of the secondary carbocation intermediate, the product on the right (in blue) is the major product.**

- c. Acrolein can be obtained via aldol condensation between acetaldehyde (ethanal) and formaldehyde (methanal) in basic conditions. Show the detailed mechanism of this reaction. *Reminder: the first step of the aldol reaction is a nucleophilic addition to a carbonyl group and the second step is an elimination reaction. Have in mind that  $\alpha$  protons are acidic.* (6 points)

*L'acroléine peut être obtenue par une condensation aldolique entre l'acétaldéhyde (éthanal) et le formaldéhyde (méthanal) en milieu basique. Montrez le mécanisme détaillé de cette réaction. Rappel : la première étape de la réaction aldolique est une addition nucléophile sur un groupe carbonyle et la seconde étape est une réaction d'élimination. Gardez à l'esprit que les protons en position  $\alpha$  sont acides.*



### Question 6 (10 points)

Give the structures of all the possible products of the following reactions (consider stereochemistry where relevant)! Assume that in all cases only 1 equivalent of the reagent is used. For all examples give the name of the mechanistic pathway.

Donnez les structures de tous les produits possibles des réactions suivantes (en tenant compte de la stéréochimie lorsque c'est pertinent)! Supposons que, dans tous les cas, un seul équivalent de réactif est utilisé. Pour chaque exemple, donnez le nom du mécanisme réactionnel.

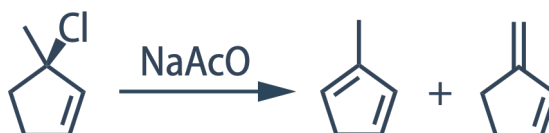
a. (3 points)



This is  $S_N1$ .

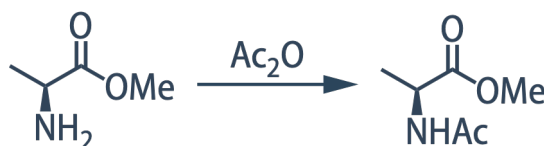
b. Give the structures of the two products of the potential side reaction that can occur in part a). What is the name of the mechanistic pathway in this case? (3 points)

Donnez les structures des deux produits de la réaction secondaire potentielle pouvant se produire dans la partie a). Quel est le nom de la voie mécanistique dans ce cas?



This is  $E_1$ .

c. (2 points)



Note: Ac<sub>2</sub>O is the anhydride of acetic acid.

Remarque: Ac<sub>2</sub>O est l'anhydride de l'acide acétique.

This is nucleophilic substitution on a carbonyl group – addition-elimination mechanism.

d. (2 points)



This is radical addition to a double bond.

### Question 7 (15 points)

Acrylonitrile ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ ; AN) is polymerized in bulk via radical polymerization with benzoyl peroxide as initiator (ROOR). In this case, termination occurs exclusively via combination. The following kinetic parameters are known for this polymerization:

*L'acrylonitrile ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ ; AN) est polymérisé en masse par polymérisation radicalaire avec le peroxyde de benzoyle comme initiateur (ROOR). Dans ce cas, la terminaison se fait exclusivement par combinaison. Les paramètres cinétiques de cette polymérisation sont les suivants :*

$$f = 0.8$$

$$k_d = 2.40 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$k_p = 1.76 \cdot 10^2 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$k_t = 3.60 \cdot 10^7 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\rho(\text{acrylonitrile}) = 810 \text{ kg m}^{-3}$$

- a. What is  $f$  and what does it describe (why is it needed)?

*Qu'est-ce que le paramètre  $f$  représente?*

**Not all generated radicals obtained by initiator decomposition actually initiate polymer chains and this is described with the efficiency factor  $f$ .**

- b. Calculate the concentration of benzoyl peroxide required for obtaining a polymer with the degree of polymerization equal to 500. (2 points)

*Calculez la concentration de peroxyde de benzoyle nécessaire pour obtenir un polymère ayant un degré de polymérisation égal à 500.*

$$\text{As } \bar{X}_n = 500 = \frac{k_p[M]}{\sqrt{fk_d k_t[I]}} \text{ and } [M] = \frac{\rho(\text{AN})}{M(\text{AN})} = 15.28 \text{ M, we get } [I] = 0.42 \text{ M.}$$

- c. Calculate the concentration of growing macroradicals in this system. (2 points)

*Calculez la concentration des macroradicaux en croissance dans ce système.*

$$\text{As } r_i = r_t, [M \cdot] = \sqrt{\frac{fk_d[I]}{k_t}} = 1.5 \cdot 10^{-7} \text{ M.}$$

- d. Calculate the propagation rate. (2 points)

*Calculez la vitesse de propagation.*

$$r_p = k_p[M \cdot][M] = k_p \sqrt{\frac{fk_d}{k_t}} [I][M] = 4.0 \cdot 10^{-4} \text{ M/s.}$$

- e. Show the mechanism for the initiation phase. (3 points)

*Montrez le mécanisme de l'étape d'initiation.*

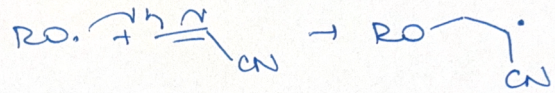
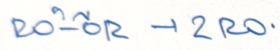
- f. Show the mechanism for the propagation phase. (3 points)

*Montrez le mécanisme de l'étape de propagation.*

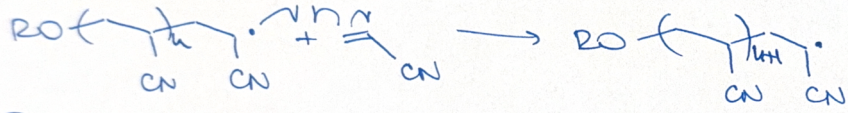
- g. Show the mechanism for the termination phase. (3 points)

*Montrez le mécanisme de l'étape de terminaison.*

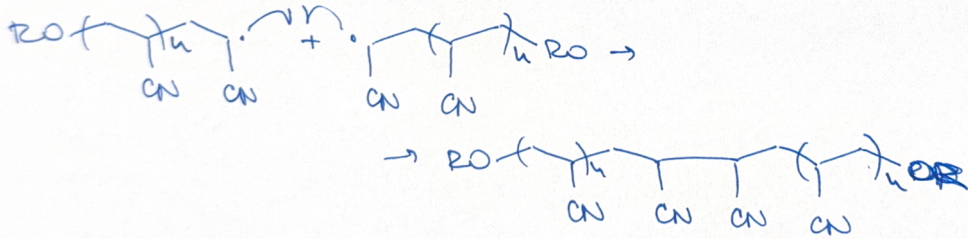
Initiation



Propagation



Termination



### Question 8 (10 points)

Succinic acid (SA; 1,4-butanedioic acid) can react with tetramethylenediamine (TA; butane-1,4-diamine) to form a polymer.

*L'acide succinique (SA; acide butane-1,4-dioïque) peut réagir avec la tétraméthylènediamine (TA; butane-1,4-diamine) pour former un polymère.*

- a. Write the reaction between SA and TA and show the structure of the products. What class of polymers does the product belong to? (3 points)

*Écrivez la réaction entre l'AS et la TA et montrez la structure des produits. À quelle classe de polymères le produit appartient-il?*



**The polymer obtained in this case is a polyamide.**

- b. Calculate the equilibrium constant of the reaction for a closed system in which conversion is 99 %. (3 points)

*Calculez la constante d'équilibre pour un système fermé dans lequel le taux de conversion est de 99 %.*

**As the conversion is 99 %, it means that if we start from  $n_0$  mol of SA and  $n_0$  mol of TA, we will end up with  $0.01n_0$  mol of SA and  $0.01n_0$  mol of TA and  $0.99 n_0$  mol of polymer and  $0.99n_0$  mol of water. Hence, the equilibrium constant can be calculated as:**

$$K = \frac{[\text{polymer}][\text{water}]}{[\text{SA}][\text{TA}]} = \frac{0.99 \cdot 0.99}{0.01 \cdot 0.01} = 9.8 \cdot 10^3.$$

You want to obtain a polymer with a number-average molar mass of 15'300 g/mol. Consider that you are starting with an equimolar mixture of the reactants of  $n(\text{SA}) = 1$  mol and  $n(\text{TA}) = 1$  mol, and the conversion is 99.9 %.

*Vous souhaitez obtenir un polymère ayant une masse molaire moyenne en nombre de 15'300 g/mol. Considérez que vous partez d'un mélange équimolaire des réactifs,  $n(\text{AS}) = 1$  mol et  $n(\text{TA}) = 1$  mol, et que le taux de conversion est de 99.9 %.*

- c. Calculate the mass of benzoic acid that should be added to this mixture in order to obtain a polymer with desired molar mass. (4 points)

*Calculez la masse d'acide benzoïque qui doit être ajoutée à ce mélange afin d'obtenir un polymère ayant la masse molaire souhaitée.*

**As  $M_0 = 170$  g/mol,  $\bar{X}_n = 90$ . From the Carothers equation we can calculate that  $r = 0.98$ . As the starting mixture has 1 mol of each monomer,  $r = \frac{2 \cdot 1 \text{ mol}}{2 \cdot 1 \text{ mol} + n(\text{BA})}$ , so we get  $n(\text{BA}) = 0.041$  mol and  $m(\text{BA}) = 5.00$  g.**

## Polymer Chemistry – Useful Formulae

- number-average molar mass:

$$M_n = \frac{\sum n_x M_x}{\sum n_x}$$

- weight-average molar mass:

$$M_w = \frac{\sum n_x M_x^2}{\sum n_x M_x}$$

- dispersity:

$$\mathfrak{D} = \frac{M_w}{M_n}$$

### Step-growth Polymerization

- ratio of functional groups:

$$r = \frac{[A]}{[B]} = \frac{N_{A,0}}{N_{B,0}}, \text{ with } N_{A,0} \leq N_{B,0} (r \leq 1)$$

- conversion of functional groups:

$$p = \frac{N_{A,0} - N_A}{N_{A,0}}, \text{ only for the limiting reagent}$$

- degree of polymerization (Carothers equation):

$$\bar{X}_n = \frac{1+r}{1+r-2rp}$$

- dispersity for perfect stoichiometry:

$$\mathfrak{D} = 1 + p$$

### Chain-growth Polymerization

- initiation rate:

$$r_i = 2fk_a[I]$$

- propagation rate:

$$r_p = k_p[M \cdot][M] = k_p \sqrt{\frac{fk_d}{k_t}} [I][M]$$

- termination rate:

$$r_t = 2k_t[M \cdot]^2$$

- kinetic chain length:

$$\bar{\nu} = \frac{k_p[M]}{2\sqrt{fk_d k_t}[I]}$$

# PERIODIC TABLE

hydrogen <b>1</b> <b>H</b>	helium <b>2</b> <b>He</b>	lithium <b>3</b> <b>Li</b>	beryllium <b>4</b> <b>Be</b>	boron <b>5</b> <b>B</b>	carbon <b>6</b> <b>C</b>	nitrogen <b>7</b> <b>N</b>	oxygen <b>8</b> <b>O</b>	fluorine <b>9</b> <b>F</b>	neon <b>10</b> <b>Ne</b>
sodium <b>11</b> <b>Na</b>	magnesium <b>12</b> <b>Mg</b>	aluminum <b>13</b> <b>Al</b>	silicon <b>14</b> <b>Si</b>	phosphorus <b>15</b> <b>P</b>	sulfur <b>16</b> <b>S</b>	chlorine <b>17</b> <b>Cl</b>	argon <b>18</b> <b>Ar</b>	potassium <b>19</b> <b>K</b>	calcium <b>20</b> <b>Ca</b>
rubidium <b>37</b> <b>Rb</b>	strontium <b>38</b> <b>Sr</b>	yttrium <b>39</b> <b>Y</b>	zirconium <b>40</b> <b>Zr</b>	niobium <b>41</b> <b>Nb</b>	molybdenum <b>42</b> <b>Mo</b>	technetium <b>43</b> <b>Tc</b>	ruthenium <b>44</b> <b>Ru</b>	rhodium <b>45</b> <b>Rh</b>	palladium <b>46</b> <b>Pd</b>
cesium <b>55</b> <b>Cs</b>	barium <b>56</b> <b>Ba</b>	lanthanum <b>57</b> <b>La</b>	hafnium <b>72</b> <b>Hf</b>	tantalum <b>73</b> <b>Ta</b>	tungsten <b>74</b> <b>W</b>	rhenium <b>75</b> <b>Re</b>	osmium <b>76</b> <b>Os</b>	gold <b>77</b> <b>Au</b>	silver <b>78</b> <b>Ag</b>
francium <b>87</b> <b>Fr</b>	radium <b>88</b> <b>Ra</b>	actinium <b>89</b> <b>Ac</b>	rutherfordium <b>104</b> <b>Rf</b>	dubnium <b>105</b> <b>Db</b>	seaborgium <b>106</b> <b>Sg</b>	bohrium <b>107</b> <b>Bh</b>	hassium <b>108</b> <b>Hs</b>	meitnerium <b>109</b> <b>Mt</b>	darmstadtium <b>110</b> <b>Ds</b>