



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Campagne 2012

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE

CHIMIE

SESSION 2012

Durée : 4 heures
Coefficient : 7

Calculatrice non autorisée

Tout autre matériel est interdit.

Aucun document autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

- Annexe 1 page 6/15
- Annexe 2 page 7/15
- Annexe 5 page 13/15
- Annexe 6 page 13/15
- Annexe 7 page 14/15

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 1 sur 15

AUTOUR DU NICKEL

DONNÉES

Constantes

Constante d'Avogadro $N_A = 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$\frac{\sqrt{2}}{4} \approx \frac{1}{3} \quad \pi \approx 3$$

Atomistique

Élément	C	N	O	Ni
Numéro atomique Z	6	7	8	28

Masse molaire atomique du nickel : $M \approx 60 \text{ g.mol}^{-1}$

Arête de la maille élémentaire du nickel : $a = 360 \text{ pm}$

On prendra $\frac{1}{a^3} \approx 2 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$

Potentiels standard à 298 K

- Couple $\text{Al}^{3+}(\text{aq})/\text{Al}(\text{s})$ $E_1^0 = -1,66 \text{ V}$
- Couple $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})/\text{Ni}(\text{s})$ $E_2^0 = -0,26 \text{ V}$
- Couple $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$ $E_3^0 = 0,00 \text{ V}$
- Couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $E_4^0 = 1,23 \text{ V}$

$$\frac{R.T}{F} \times \ln(x) = 0,06 \times \lg(x) \text{ exprimé en V à } 298 \text{ K}$$

Données thermodynamiques à 298 K

Pression standard $P^\circ = 1 \text{ bar}$

Constante des gaz parfaits : $R \approx 8 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Produit de solubilité de l'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$

Constante de formation globale du complexe $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$

Produit ionique de l'eau

$$K_s = 1 \times 10^{-32}$$

$$\beta_4 = 1 \times 10^{33}$$

$$K_e = 1 \times 10^{-14}$$

1. Le nickel

1.1. L'élément nickel

1.1.1. Donner la configuration électronique à l'état fondamental de l'atome de nickel.

1.1.2. Le nickel est un élément de transition. Justifier cette désignation.

1.2. Structure du métal nickel

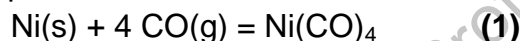
1.2.1. Le nickel cristallise dans une structure cubique à faces centrées (c.f.c). Compléter le schéma de la maille élémentaire figurant en **annexe 1, page 6/15, à rendre avec la copie.**

1.2.2. Établir la relation littérale liant l'arête a de la maille et le rayon métallique R du nickel. Calculer la valeur de R .

1.2.3. Établir l'expression littérale de la masse volumique du nickel et calculer sa valeur.

2. Raffinage du nickel par le procédé Mond

Du nickel de très haute pureté peut être obtenu par réaction entre le monoxyde de carbone et des pastilles de nickel impur selon la réaction :



Aucun autre métal présent dans les pastilles ne réagit dans les mêmes conditions. Après séparation, Ni(CO)_4 est décomposé selon la réaction inverse pour donner du métal d'une pureté proche de 99,9 %.

2.1. Etude du complexe Ni(CO)_4

2.1.1. Écrire le schéma de Lewis de la molécule de monoxyde de carbone. De quelle molécule CO est-il isoélectronique ?

2.1.2. Justifier le caractère de ligand du monoxyde de carbone. Quel type de liaison est mis en jeu entre le monoxyde de carbone et l'atome de nickel ?

2.1.3. Donner le nom du complexe Ni(CO)_4 .

2.2. Obtention du complexe Ni(CO)_4

2.2.1. Le complexe Ni(CO)_4 possède une température d'ébullition de 316 K sous une pression de 1 bar.

Dans les conditions de l'approximation d'Ellingham, on peut établir les expressions suivantes pour l'enthalpie libre standard de la réaction (1), la température T étant exprimée en Kelvin :

$$\text{Pour } T \leq 316 \text{ K} \quad \Delta_r G_1^0(T) = -188 + 0,502 \cdot T \text{ (en kJ.mol}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Pour } T \geq 316 \text{ K} \quad \Delta_r G_2^0(T) = -158 + 0,407 \cdot T \text{ (en kJ.mol}^{-1}\text{)}$$

2.2.1.1. Rappeler en quoi consiste l'approximation d'Ellingham.

2.2.1.2. Déterminer, à partir des expressions de l'enthalpie libre standard de la réaction (1), l'enthalpie standard $\Delta_{\text{vap}} H^0$ de la réaction de vaporisation de Ni(CO)_4 sous une pression de 1 bar à 316 K.

2.2.2. La synthèse est réalisée sous une pression totale de 1 bar à une température supérieure à 316 K.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 3 sur 15

2.2.2.1. Indiquer en justifiant votre réponse, comment choisir la température (basse ou élevée) pour favoriser l'obtention du complexe.

2.2.2.2. Comment peut-on séparer le complexe du monoxyde de carbone introduit en excès ?

3. Synthèse du nickel de Raney

Le nickel de Raney est un catalyseur qui est obtenu par réaction d'un alliage aluminium-nickel avec une solution concentrée d'hydroxyde de sodium. Pour étudier les réactions mises en jeu lors de son obtention, on dispose en **annexe 2 (page 7/15) à rendre avec la copie**, sur un même graphe :

- du diagramme potentiel- pH de l'élément aluminium, tracé en traits pleins pour une concentration totale en élément aluminium dissous égale à 1 mol.L^{-1} et mettant en jeu les espèces $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^{-}(\text{aq})$ et $\text{Al}(\text{s})$.
- du diagramme potentiel- pH de l'élément nickel, tracé en traits pointillés longs pour une concentration totale en élément nickel dissous égale à 1 mol.L^{-1} et mettant en jeu les espèces $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s})$ et $\text{Ni}(\text{s})$.
- du diagramme potentiel- pH de l'eau tracé en traits pointillés courts et mettant en jeu les espèces $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{O}_2(\text{g})$ et $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, les pressions des gaz étant prises égales à 1 bar.

Ces diagrammes sont tous tracés à 298 K.

3.1. Exploitation du diagramme potentiel- pH de l'élément aluminium

3.1.1. Placer les domaines d'existence ou de prédominance des espèces $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^{-}(\text{aq})$ et $\text{Al}(\text{s})$ sur le graphe de l'**annexe 2, page 7/15**.

3.1.2. Écrire l'équation de la dissolution en milieu fortement basique de l'hydroxyde d'aluminium. Donner l'expression de sa constante d'équilibre K° et calculer sa valeur à 298 K.

3.1.3. Retrouver par le calcul la valeur de la frontière $pH = 13$.

3.2. Exploitation du diagramme potentiel- pH de l'élément nickel

3.2.1. Placer les domaines d'existence ou de prédominance des espèces $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s})$ et $\text{Ni}(\text{s})$ sur le graphe de l'**annexe 2**.

3.2.2. Déterminer, sans utiliser le graphique, la pente de la frontière entre les domaines des espèces $\text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s})$ et $\text{Ni}(\text{s})$.

3.3. Obtention du nickel de Raney

Un alliage d'aluminium et de nickel est mis en contact avec une solution désaérée d'hydroxyde de sodium concentrée ($pH = 14$).

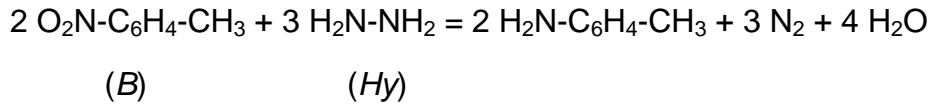
3.3.1. Compléter le graphe de l'**annexe 2** en faisant figurer les domaines des espèces $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{O}_2(\text{g})$ et $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

3.3.2. En déduire quelle sera l'action d'une solution d'hydroxyde de sodium à $pH = 14$ sur l'alliage aluminium-nickel. Écrire l'équation de la réaction correspondante.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 4 sur 15

4. Utilisation du nickel de Raney

Le nickel de Raney est utilisé comme catalyseur lors de la réduction du paranitrotoluène noté **(B)** par l'hydrazine notée **(Hy)** en solution hydroalcoolique.



4.1. En notant p l'ordre de la réaction par rapport au paranitrotoluène **(B)** et q l'ordre par rapport à l'hydrazine **(Hy)**, exprimer la vitesse volumique de la réaction v à la date t en fonction de la constante de vitesse k et des concentrations molaires $[\text{B}]_t$ et $[\text{Hy}]_t$ à la date t .

4.2. Cette réaction a été étudiée par M.Goswami et M.Rahman à 298 K en solution hydroalcoolique et en présence de $5,0 \text{ g.L}^{-1}$ de nickel de Raney, avec les concentrations initiales $[\text{B}]_0 = 5,0 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ et $[\text{Hy}]_0 = 11 \text{ mol.L}^{-1}$.

4.2.1. Expliquer comment se simplifie, dans ces conditions, l'expression de v (on notera k' la constante apparente de vitesse). Préciser le nom de cette méthode expérimentale de détermination d'un ordre partiel.

4.2.2. En faisant l'hypothèse d'un ordre 1 par rapport à **(B)**, montrer que la relation liant k' , $[\text{B}]_t$ et $[\text{B}]_0$ est : $\ln \left(\frac{[\text{B}]_t}{[\text{B}]_0} \right) = -2 k'.t$

4.2.3. A la longueur d'onde de 275 nm, seule l'espèce **(B)** absorbe et son absorbance vérifie la loi de Beer-Lambert. On note A_t l'absorbance de **(B)** à la date t et A_0 son absorbance initiale. En déduire la relation entre A_t , A_0 , k' et t .

4.2.4. Montrer que la courbe tracée en **annexe 3, page 8/15**, permet de confirmer l'ordre 1 par rapport à **(B)** ; déterminer la valeur de la constante apparente de vitesse k' dans ces conditions expérimentales.

4.2.5. D'autres expériences ont permis de déterminer des valeurs de la constante apparente de vitesse k' à différentes températures, en solution hydroalcoolique et en présence de $5,0 \text{ g.L}^{-1}$ de nickel de Raney, avec les concentrations initiales :

$$[\text{B}]_0 = 5,0 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1} \text{ et } [\text{Hy}]_0 = 1 \text{ mol.L}^{-1}.$$

En **annexe 4, page 8/15**, figure la courbe $\ln k'$ en fonction de $1/T$ (T : température en Kelvin).

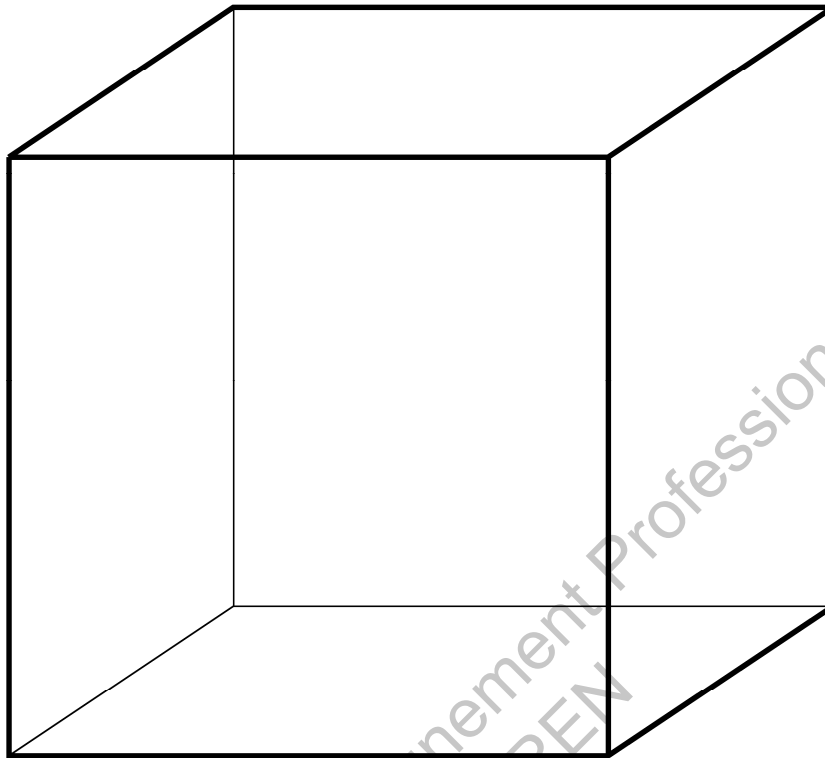
4.2.5.1. Rappeler la relation liant la constante de vitesse k et la température T (on notera E_a l'énergie d'activation).

4.2.5.2. Déduire de la courbe figurant en **annexe 4, page 8/15**, la valeur de l'énergie d'activation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 5 sur 15

Annexe 1

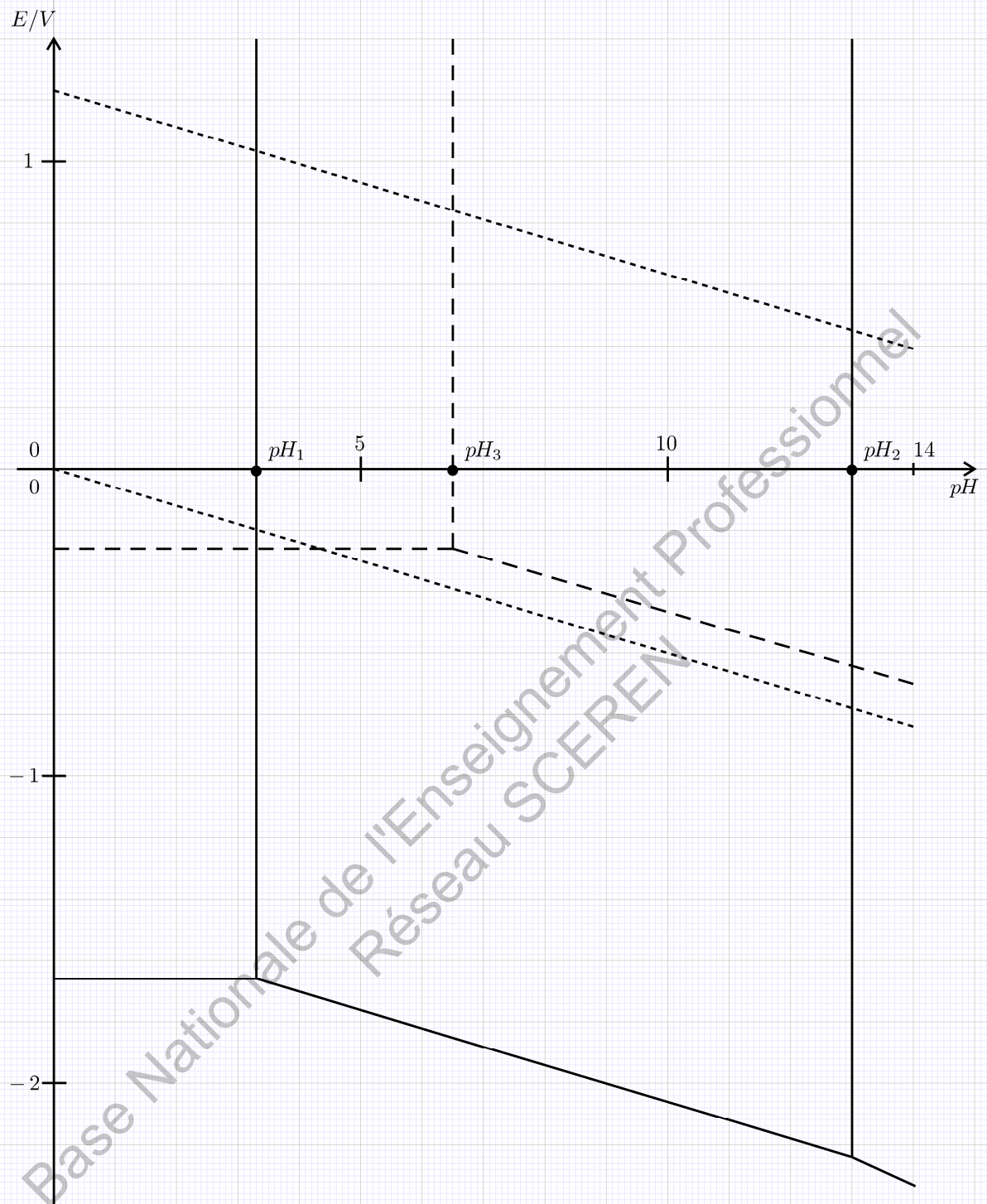
A rendre avec la copie



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 6 sur 15

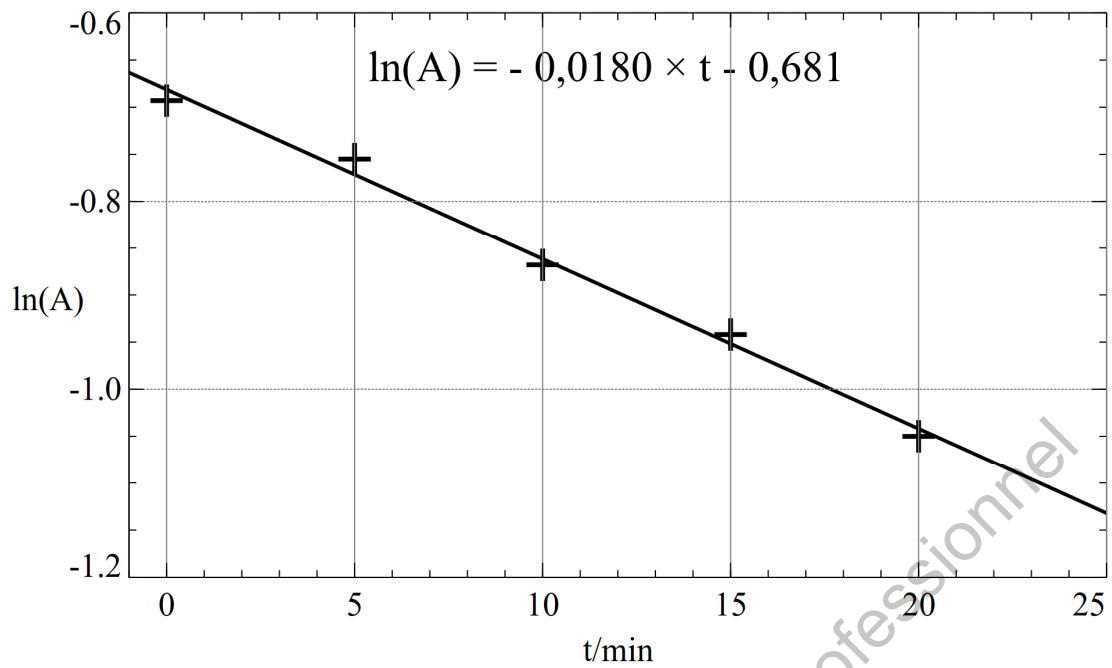
Annexe 2
A rendre avec la copie



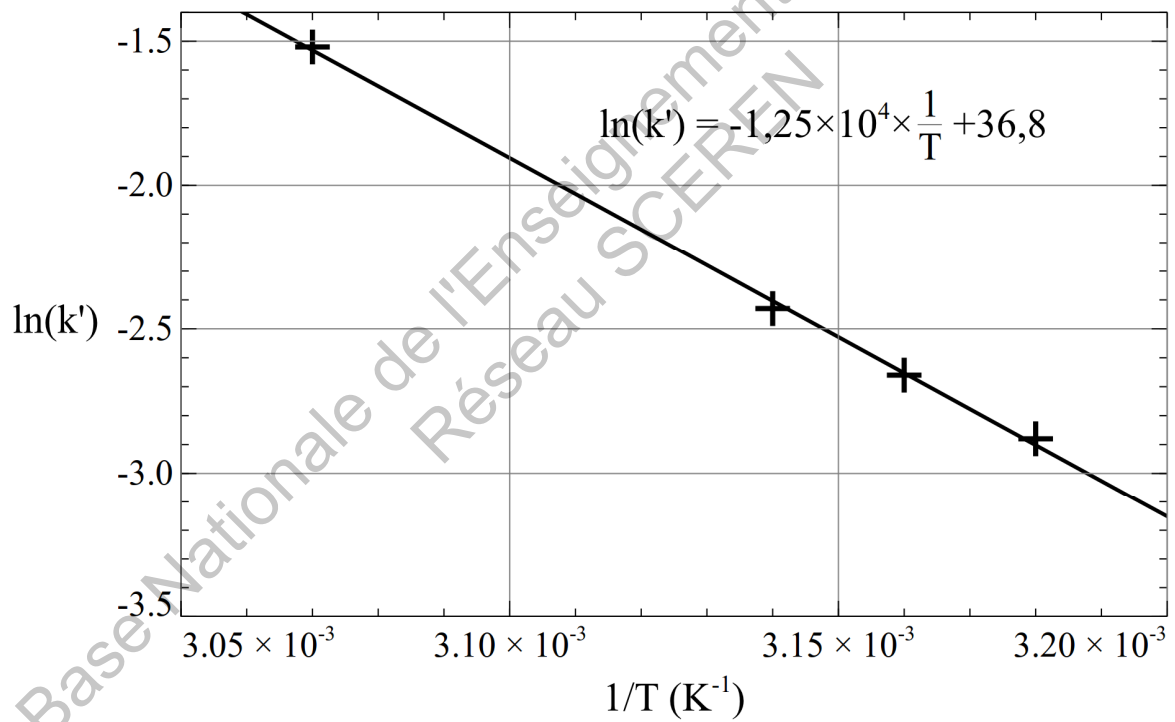
Légende :

diagramme potentiel-pH de l'aluminium :	—
diagramme potentiel-pH du nickel :	- - - -
diagramme potentiel-pH de l'eau :

Annexe 3



Annexe 4



LE TRAITEMENT DU DIABÈTE

Le Mediator® et le Mevacor® sont deux médicaments qui ont été largement prescrits pour lutter contre l'hypercholestérolémie, notamment chez les patients diabétiques.

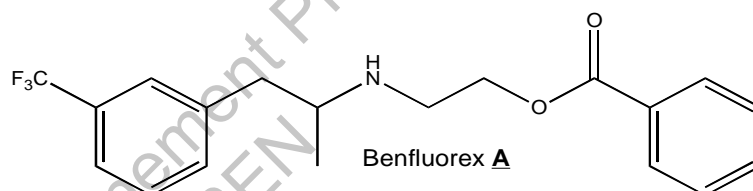
Le benfluorex est le principe actif du Mediator®, médicament commercialisé en France par les laboratoires Servier de 1976 à 2009 pour ses propriétés hypolipémiantes, hypocholestérolémiantes, hypoglycémiantes et anorexigènes. Fin 2009, le Mediator® a été retiré du marché français suite à de nombreux cas de maladies cardiaques décelées chez les patients traités et fait encore actuellement l'objet de controverses.

La lovastatine, présente à l'état naturel dans un champignon (le pleurote en huître) et dans la levure de riz rouge, est le principe actif du Mevacor®, médicament toujours commercialisé dans certains pays comme le Canada, les Etats-Unis et l'Espagne. La molécule provoque chez les patients traités un abaissement notable du taux de cholestérol.

**Chaque partie de ce sujet concerne l'étude d'un principe actif.
Les deux parties de ce sujet sont indépendantes.**

Partie 1 : Synthèse du benfluorex

Le Mediator® est constitué d'un mélange racémique de benfluorex **A**.



1. Préciser ce qu'est un mélange racémique.

2. Représenter les différents stéréoisomères du benfluorex **A**. Préciser la (ou les) relation(s) de stéréoisomérisation entre les différents stéréoisomères en expliquant la réponse.

3. Première partie d'une voie de synthèse.

Le trifluorométhylbenzène **B** est traité par le chlorure de propanoyle en présence de trichlorure d'aluminium anhydre pour obtenir un produit **C**. **C** est dissous dans l'éthanol puis soumis à l'action du tétrahydruoborate de sodium. Après hydrolyse, on obtient un produit **D** qui présente en spectroscopie Infrarouge les caractéristiques détaillées dans le tableau en annexe (**annexe 6 page 13/15**, à rendre avec la copie).

Le chauffage de **D** en présence d'acide phosphorique concentré (H_3PO_4) conduit à un produit **E** de formule brute $C_{10}H_9F_3$ et qui présente la particularité de décolorer l'eau de dibrome. **E**, mis en solution dans l'hexane, est traité par du bromure d'hydrogène gazeux, sous rayonnement UV. On obtient alors un produit **F** qui, traité par un grand excès d'ammoniac, conduit à l'amine primaire **G**.

3.1. Représenter les composés **C**, **D**, **E** et **F** dans le tableau de résultats (**annexe 5 p13/15**, à rendre avec la copie).

3.2. Formation de **C**

3.2.1. Préciser la nature du mécanisme réactionnel de la réaction conduisant à la formation de **C**. Détailler ce mécanisme réactionnel.

3.2.2. Proposer une explication quant à l'orientation de la réaction.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 9 sur 15

3.3. Action du tétrahydruroborate de sodium sur C

3.3.1. Donner l'équation de la réaction de la molécule C avec le tétrahydruroborate de sodium.

3.3.2. Interpréter le spectre Infrarouge du composé D en complétant le tableau en **annexe 6, page 13/15**, à rendre avec la copie (**table des nombres d'onde en page 15/15**).

3.4. Formation de F

3.4.1. Choisir parmi les termes suivants celui ou ceux qui décrivent le mieux la réaction de formation de F : addition / élimination / substitution / électrophile / nucléophile / radicalaire.

3.4.2. Expliquer les conditions expérimentales choisies pour obtenir le composé F avec la sélectivité voulue.

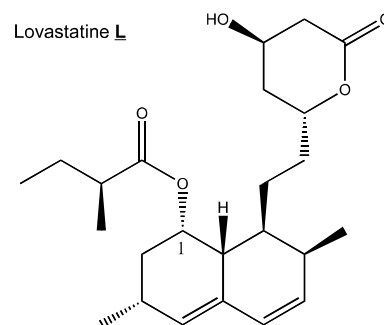
4. Fin de la synthèse.

Le benfluorex est finalement obtenu par réaction de l'amine primaire G sur une molécule H, dérivée de l'acide benzoïque, selon un mécanisme de type S_N2 .

Proposer dans le tableau de résultats (**annexe 5, page 13/15**, à rendre avec la copie) une molécule H susceptible de convenir pour terminer cette synthèse. Aucune justification n'est demandée.

Partie 2 : Synthèse de la lovastatine

La lovastatine, notée L dans cette partie est représentée ci-contre.



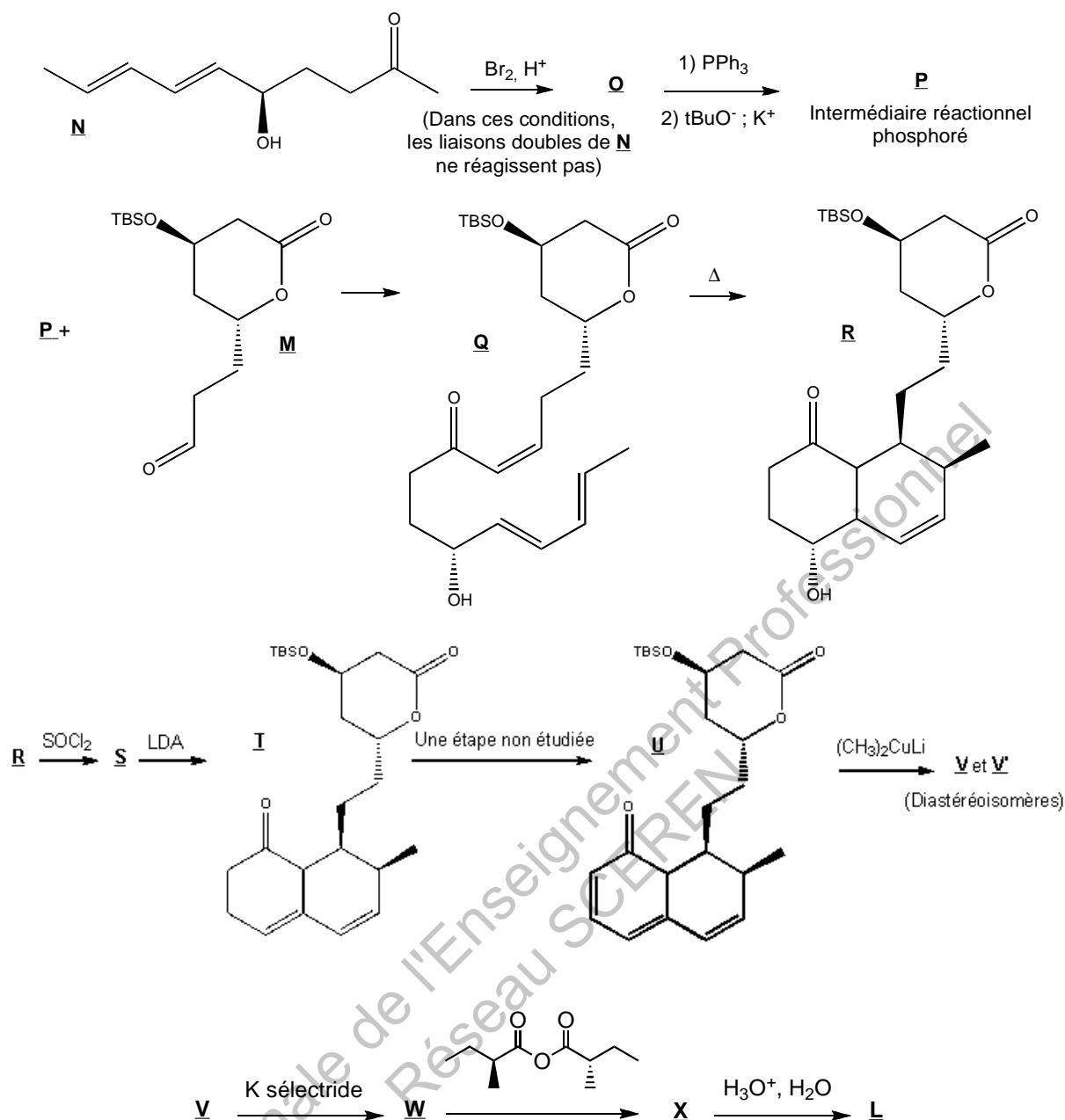
1. Sur l'**annexe 7, page 14/15**, (à rendre avec la copie) repérer les atomes de carbone asymétriques sur la molécule de lovastatine L. Préciser combien la lovastatine L possède de stéréoisomères.

2. Indiquer la configuration (ou descripteur stéréochimique) de l'atome de carbone noté 1 en expliquant précisément la démarche suivie.

Dans cette partie, on se propose d'étudier les dernières étapes, représentées ci-après, de la synthèse de la lovastatine L, à partir des molécules M et N. On précise que sur la molécule M, le groupe TBS (terbutylsilyle) constitue un groupe protecteur des alcools en formant un éther silylé. La dernière étape de la synthèse correspond à la « déprotection » (en milieu acide aqueux) de l'éther silylé afin de retrouver le groupe hydroxyle.

On précise de plus que le K-sélectride est un agent réducteur qui réagit comme le tétrahydruroborate de sodium et qui permet d'obtenir sélectivement un stéréoisomère de configuration cohérente avec la molécule L.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 10 sur 15



3. Représenter les composés **O** et **P** et compléter les squelettes des molécules **S**, **I**, **V**, **V'**, **W** et **X** dans le tableau de résultats (**annexe 7, page 14/15**, à rendre avec la copie).

4. Écrire l'équation de la synthèse de **O** à partir de **N**, la bromation se faisant dans le cas présent majoritairement sur le carbone le moins substitué.

5.1. Préciser le mécanisme réactionnel des trois étapes conduisant à la formation de **Q** à partir de **O**. Pour simplifier l'écriture, les molécules **O** et **M** pourront être abrégées.

5.2. Comment appelle-t-on les composés phosphorés comme **P** ? Expliquer la stabilité particulière de **P**.

6. Donner le nom que porte la réaction de synthèse de **R** à partir de **Q**.

7. Donner la formule et le nom des sous-produits obtenus lors de l'utilisation du chlorure de thionyle pour synthétiser **S**.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 11 sur 15

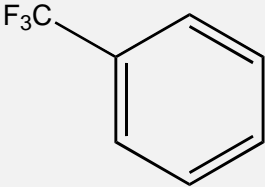
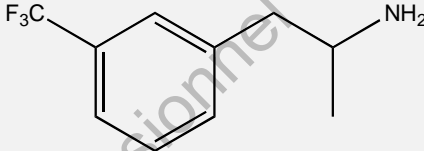
- 8.1.** Indiquer le type de la réaction mise en jeu lors du passage de **S** à **T** sachant que le LDA diisopropyl amidure de lithium.
- 8.2.** Expliquer la formation préférentielle de l'isomère de position **T** par rapport à un autre isomère de position envisageable.
- 9.** Pourquoi n'a-t-on pas utilisé un organomagnésien pour synthétiser **V** ?
- 10.** Préciser quelles sont les étapes qui justifient la protection du groupe hydroxyle de la molécule **M** en éther silylé.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 12 sur 15

Annexe 5

Chimie organique (à rendre avec la copie) : tableau de résultats de la Partie 1

B 	C	D
E	F	G 
H		

Annexe 6

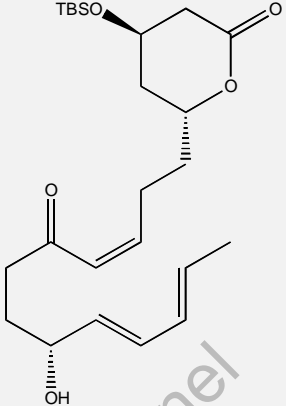
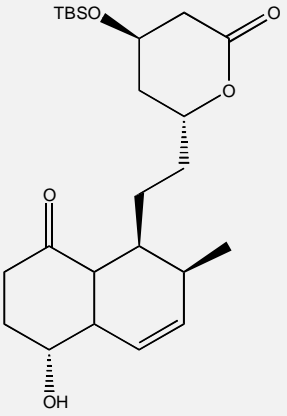
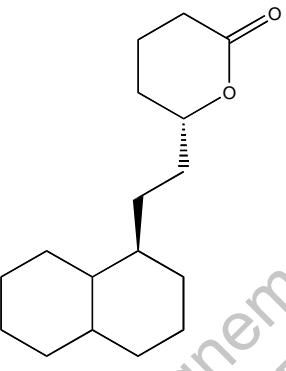
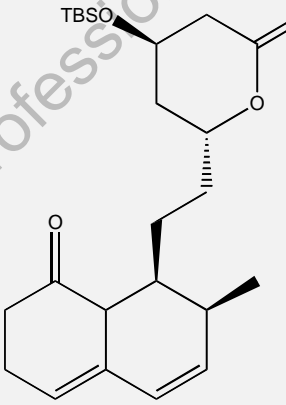
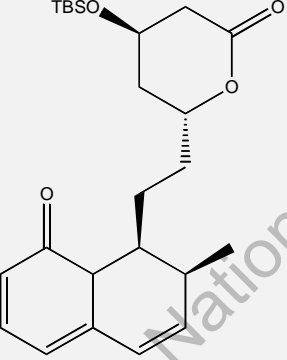
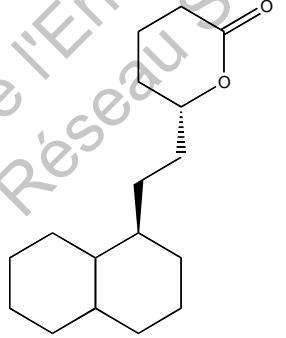
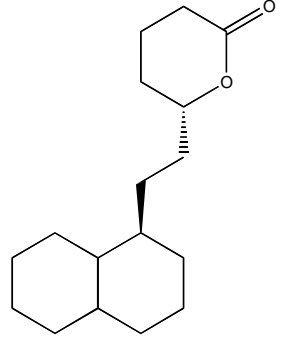
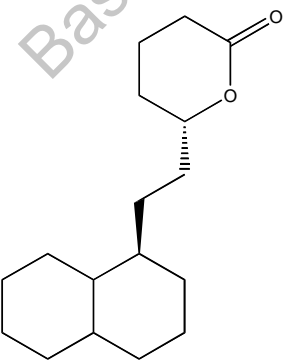
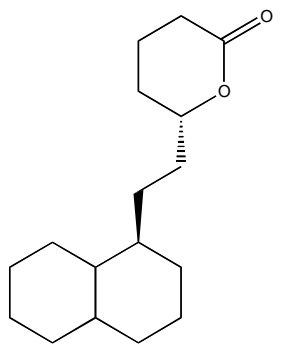
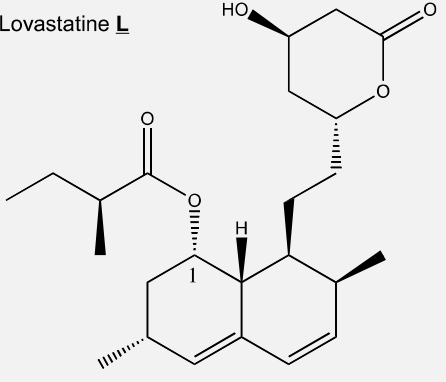
Chimie organique (à rendre avec la copie) : analyse du spectre IR

Principales caractéristiques du spectre IR	Liaison associée
- Large bande de forte intensité vers 3300 cm^{-1}	
- Série de bandes fines et d'intensité moyenne à 3030 , 3063 et 3086 cm^{-1} ,	
- Deux bandes fines et intenses à 1451 et 1493 cm^{-1}	
- Bande fine et intense à 1078 cm^{-1}	

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : CHCHI-P/12	Session 2012
CHIMIE		Page 13 sur 15

Annexe 7

Chimie organique (à rendre avec la copie) : tableau de résultats de la partie 2

<p>Q</p>	<p>P</p>	<p>Q</p> 
<p>R</p> 	<p>S</p> 	<p>I</p> 
<p>U</p> 	<p>V</p> 	<p>V'</p> 
<p>W</p> 	<p>X</p> 	<p>Lovastatine L</p> 

SPECTROSCOPIE INFRAROUGE

Table des nombres d'onde des vibrations d'élongation et de déformation

C_{tet} : C tétraogonal

C_{tre} : C trigonal $>C=$

C_{di} : C digonal $-C\equiv$

Liaison	Nature	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité F : fort ; m : moyen ; f : faible
O-H alcool libre	Élongation	3590-3650	F (fine)
O-H alcool lié	Élongation	3200-3600	F (large)
N-H amine	Élongation	3300-3500	m
N-H amide	Élongation	3100-3500	F
$C_{di}-H$	Élongation	~ 3300	M ou f
$C_{tri}-H$	Élongation	3030-3100	m
$C_{tri}-H$ aromatique	Élongation	3000-3100	m
$C_{tet}-H$	Élongation	2850-2970	F
$C_{tri}-H$ aldéhyde	Élongation	2700-2900	m
O-H acide carboxylique	Élongation	2500-3200	F à m (large)
$C\equiv C$	Élongation	2100-2260	f
$C\equiv N$ nitriles	Élongation	2200-2260	F ou m
$C=O$ anhydride	Élongation	1800-1850 1740-1790	F
$C=O$ chlorure d'acide	Élongation	1790-1815	F
$C=O$ ester	Élongation	1735-1750	F
$C=O$ aldéhyde et cétone	Élongation	1700-1740 abaissement de ~ 20 à 30 cm^{-1} si conjugaison	F
$C=O$ acide carboxylique	Élongation	1700-1725	F
$C=O$ amide	Élongation	1650-1700	F
$C=C$	Élongation	1620-1690	m
$C=C$ aromatique	Élongation	1450-1600	Variable
$N=O$ (de $-NO_2$) conjugué	Élongation	1500-1550 1290-1360	F
$N=N$	Élongation	1400-1500	f ; parfois invisible
$C=N$	Élongation	1640-1690	F ou m
N-H amine ou amide	Déformation	1560-1640	F ou m
$C_{tet}-H$	Déformation	1430-1470	F
$C_{tet}-H$ (CH_3)	Déformation	1370-1390	F ; 2 bandes
O-H	Déformation	1260-1410	F
$P=O$	Élongation	1250-1310	F
$C_{tet}-O-C_{tet}$ (étheroxydes)	Élongation	1070-1150	F
$C_{tet}-OH$ (alcools)	Élongation	1010-1200	
$C_{tet}-O-C_{tri}$ (esters) $C_{tri}-O-C_{tri}$ (anhydrides)	Élongation	1050-1300	F ; 1 ou 2 bandes
$C-N$	Élongation	1020-1220	m
$C-C$	Élongation	1000-1250	F
$C-F$	Élongation	1000-1040	F
$C_{tri}-H$ de $-HC=CH-$ (E)	Déformation	960-970	F
(Z)	Déformation	670-730	m
$C_{tri}-H$ aromatique monosubstitué	Déformation	730-770 et 680-720	F ; 2 bandes
$C_{tri}-H$ aromatique o-disubstitué	Déformation	735-770	F
m-disubstitué	Déformation	750-800 et 680-720	F et m ; 2 bandes
p-disubstitué	Déformation	800-860	F
$C_{tri}-H$ aromatique 1,2,3 trisubstitué	Déformation	770-800 et 685-720	F et m ; 2 bandes
1,2,4 trisubstitué	Déformation	860-900 et 800-860	F et m ; 2 bandes
1,3,5 trisubstitué	Déformation	810-865 et 675-730	F et m ; 2 bandes
$C_{tet}-Cl$	Élongation	600-800	F
$C_{tet}-Br$	Élongation	500-750	F
$C_{tet}-I$	Élongation	~ 500	F