

Instructions générales :

- Les candidats doivent vérifier que le sujet comprend **17** pages.
- Les candidats sont invités à porter une attention toute particulière à la **qualité de la rédaction, de l'orthographe et des justifications**. En effet, toute réponse non correctement justifiée sera considérée comme fausse.
- Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.
- L'usage d'une **calculatrice** est **autorisé** pour cette épreuve.

Partie A : Autour du radical hydroxyle

Le radical hydroxyle, $\text{HO}^\bullet$, espèce transitoire de très courte durée de vie, constitue l'une des espèces les plus étudiées en chimie radicalaire. Ce radical libre très réactif, électriquement neutre, peut être produit lors de la décomposition de peroxyde d'hydrogène, $\text{HO}-\text{OH}$, ou à partir de molécules d'eau irradiées (**document 1**). On le retrouve donc dans l'atmosphère, dans les milieux aqueux soumis aux rayonnements et même *in vivo*.

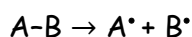
Document 1 - Les espèces radicalaires et les processus homolytiques

Il existe deux types de rupture de liaison covalente entre deux fragments A et B :

- la rupture dite "hétérolytique" : les deux électrons de la liaison sont captés par l'un des deux fragments. Cette rupture conduit alors à la formation d'ions :



- la rupture dite "homolytique" : les deux électrons de la liaison sont répartis équitablement conduisant à deux espèces chimiques dites "radicalaires" :



Dans les notations $\text{A}^\bullet$ et $\text{B}^\bullet$, le point « • » représente l'électron célibataire porté par chaque radical.

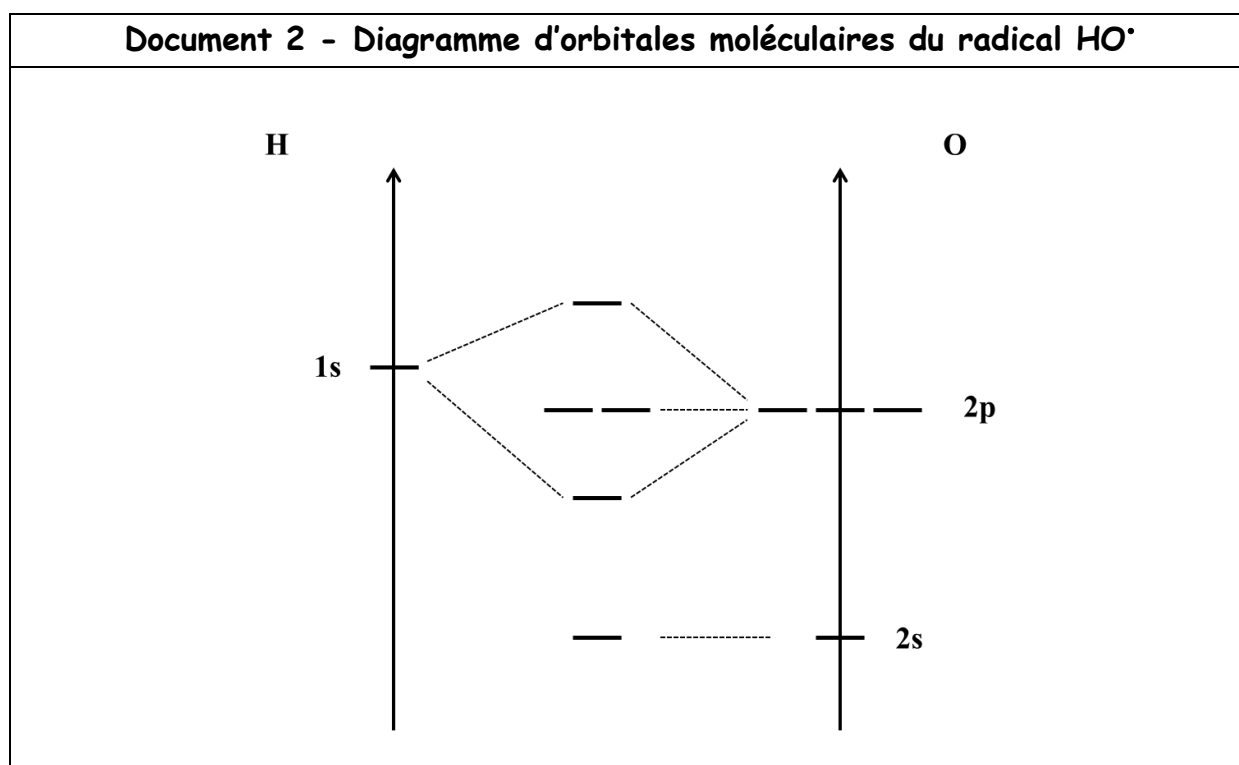
Les espèces radicalaires peuvent être électriquement neutres ou chargées. Etant donné que les liaisons chimiques ont des énergies de l'ordre de quelques centaines de $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, les conditions mises en jeu pour former des radicaux sont souvent drastiques : hautes températures, radiations ionisantes, rayonnements ultraviolets.

On désire construire le diagramme d'énergie des orbitales moléculaires (OM) du radical hydroxyle, $\text{HO}^\bullet$, pour expliquer sa réactivité et prédire certaines de ses propriétés.

Q1. Écrire les configurations électroniques de l'atome d'oxygène et de l'atome d'hydrogène dans leur état fondamental. Préciser les orbitales de valence des deux atomes ainsi que la valeur des nombres quantiques associés à ces orbitales.

Q2. Représenter schématiquement ces orbitales de valence. Connaissant les énergies des orbitales atomiques (OA) des atomes H et O et **en choisissant l'axe y** comme axe internucléaire, préciser les OA de valence à combiner pour construire les OM du radical HO[•]. Justifier.

Q3. On trace le diagramme des OM de l'entité diatomique HO[•] en combinant les orbitales de valence des atomes H et O (**document 2**). Reproduire ce diagramme sur la copie. Identifier la symétrie σ ou π de chacune des OM représentées sur le diagramme d'énergie. Préciser le caractère liant, non-liant ou antiliant de chaque OM. Placer les électrons dans ce diagramme. Donner alors la configuration électronique de HO[•].



Q4. Le moment dipolaire de HO[•] a été évalué expérimentalement à 1,66 D (D correspondant au Debye, 1 D = $3,34 \times 10^{-30}$ C.m). Commenter, à partir du diagramme d'énergie, la polarité de la liaison H-O. Dédurre également de ce diagramme lequel des deux atomes est porteur de l'électron célibataire.

Q5. Calculer l'indice (l'ordre) de liaison de HO[•]. Ce radical est-il stable vis-à-vis de la dissociation des noyaux ?

Q6. Écrire la structure de Lewis de HO[•]. Dans le cas de ce radical, le formalisme de Lewis est-il en accord avec les résultats obtenus dans le cadre de la théorie des OM ? Justifier.

Données :

Numéros atomiques Z :

Élément	H	O	S	Co	Ce
Z	1	8	16	27	58

Énergies des orbitales atomiques (OA) des éléments H et O, données en eV :

	H	O
1s	- 13,6	- 538,0
2s		- 32,4
2p		- 15,9

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Partie B – Le zirconium (CC INP PC 2024)

I.1 - Atomistique

Du fait de sa forte résistance à la corrosion, le zirconium métallique est employé dans l'industrie chimique utilisant des agents corrosifs. Il sert également dans les revêtements des moteurs à réaction ou en tant qu'élément d'alliages aux caractéristiques mécaniques améliorées. En raison de ses propriétés qu'il conserve à température élevée et couplé à sa faible absorption des neutrons, le zirconium est aussi utilisé dans la construction de réacteurs nucléaires fonctionnant à une température pouvant atteindre 400°C.

Q1. Énoncer explicitement et en les nommant, les règles et principe de construction de la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental.

Q2. Écrire la configuration électronique du zirconium dans son état fondamental. En déduire les nombres d'oxydation extrêmes du zirconium.

Q3. Déterminer le numéro atomique de l'hafnium, de symbole Hf, situé dans la même colonne de la classification périodique que le zirconium et à la période suivante. Justifier.

I.2-Hydrure de zirconium ZrH_x

Le dihydrogène H_2 constitue un combustible de choix dans les propergols destinés aux fusées spatiales. Son stockage, problématique, peut être toutefois envisagé sous forme atomique au sein de divers matériaux : métaux et alliages par exemple. Ainsi, l'action directe du dihydrogène H_2 sur le zirconium métallique engendre un hydrure (l'ion hydrure est l'ion H^-), de formule ZrH_x , avec x entier naturel à déterminer. La structure cristalline du zirconium métallique est de type cubique faces centrées (CFC). Dans la structure cristalline de l'hydrure ZrH_x , les atomes d'hydrogène H s'insèrent dans des sites interstitiels du réseau CFC du zirconium métallique.

Q4. Quelle est la nature de la réaction conduisant à la formation d'hydrure de zirconium ZrH_x à partir de dihydrogène et de zirconium métallique ? Justifier.

Q5. Représenter la maille conventionnelle du réseau CFC du zirconium métallique. Situer explicitement les centres des sites interstitiels de type octaédrique, notés O et de type tétraédrique, notés T, du réseau CFC du zirconium métallique.

On note r_O et r_T le rayon d'un atome assimilé à une sphère, et $r(Zr)$ le rayon du zirconium métallique. Les indices O et T représentant respectivement les sites octaédriques et tétraédriques, dans lesquels peuvent s'insérer l'atome sans déformation du réseau CFC du zirconium métallique.

Q6. Déterminer les rapports $r_O/r(Zr)$ et $r_T/r(Zr)$.

Les atomes d'hydrogène H se situent dans la totalité des sites interstitiels tétraédriques, l'occupation de ces sites assurant à l'hydrure de zirconium ZrH_x une meilleure cohésion.

Q7. En déduire la formule brute de l'hydrure ZrH_x .

I.3 -Étude de la liaison zirconium- dihydrogène

Afin d'interpréter la rupture de la liaison H-H, lors de la formation de l'hydruure ZrH_x , l'interaction entre le zirconium métallique et le dihydrogène H_2 est modélisée à l'aide de la théorie des orbitales moléculaires (OM). Pour simplifier, la surface du métal est réduite à un seul atome métallique de zirconium. Cet atome est positionné à l'origine d'un repère orthonormé $Oxyz$. L'approche du dihydrogène H_2 , représentée figure 1, se fait selon l'axe Oz , les 2 atomes d'hydrogène demeurant dans un plan parallèle au plan Oxy . L'axe internucléaire de la liaison H-H est choisi parallèle à l'axe Oy et perpendiculaire à l'axe Oz .

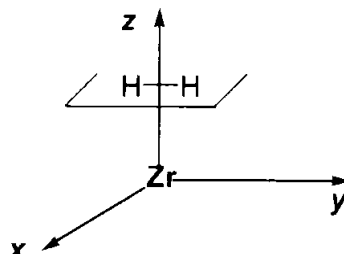


Figure 1-Approche du dihydrogène H_2

Pour cette étude, seules les orbitales atomiques (OA) d de valence du zirconium sont prises en compte. Leur allure est indiquée en fin de problème. Les valeurs d'énergie des OM du dihydrogène H_2 et des OA d de valence du zirconium sont également fournies.

Q8. Représenter le diagramme énergétique des OM du dihydrogène H_2 et associer à chaque niveau d'énergie la représentation conventionnelle de l'OM correspondante. Préciser le caractère liant, non-liant ou anti-liant de ces OM, ainsi que leur symétrie σ ou π .

Q9. Rappeler les deux conditions d'interaction entre deux orbitales. Identifier les OA d de valence du zirconium pouvant interagir avec les OM de H_2 . Les OA d du zirconium sont fournies dans les données en fin de problème.

Q10. Dessiner la combinaison liante associée aux différentes orbitales de H_2 et de Zr pouvant interagir.

Données relatives au problème B

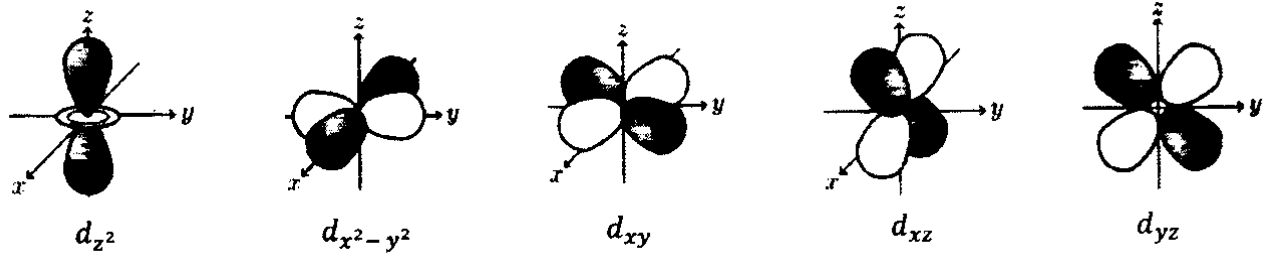
Données d'atomistique

Élément	Numéro atomique
H	1
Zr	40

Valeurs d'énergie des OM de H_2 et des OA d de valence du Zr

Énergie des OM du dihydrogène H_2	-18 eV	-4,2 eV
Énergie des OA d de valence du zirconium	-8,3 eV	

Représentation conventionnelle des orbitales atomiques d



Constante des gaz parfaits: $R = 8,3 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Nombre d'Avogadro: $N_A = 6,0.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Partie C : Quelques utilisations du plomb

Le plomb, relativement abondant dans la croûte terrestre, est l'un des métaux les plus anciennement connus et travaillés. Grâce à sa facilité d'extraction et à sa grande malléabilité, il a été fréquemment utilisé. On en a trouvé dans des pigments recouvrant des tombes ou des dépouilles préhistoriques.

Sa toxicité était connue des médecins et mineurs de l'Antiquité. Les Romains qui l'utilisaient sous forme d'acétate de plomb pour conserver et sucrer leur vin, s'étaient rendu compte que les gros buveurs souffraient d'intoxication.

De nombreux cas d'intoxication (saturnisme) ont été à l'origine d'une réglementation progressivement mise en place dans la plupart des pays industriels. Le plomb a ainsi été interdit en France pour la confection des tuyaux de distribution d'eau potable en 1995.

1.1 Atomistique

Q1 Ecrire la configuration électronique du plomb Pb ($Z = 82$) dans son état fondamental. En déduire son nombre d'électrons de valence.

Q2 Quelle est la position (période et colonne) du plomb dans la classification périodique ? Quel élément, du carbone, de l'azote ou de l'oxygène, appartient à la colonne du plomb ?

1.2 La galène, minéral principal

♦ Grillage de la galène

Le principal minéral de plomb est le sulfure de plomb PbS, ou galène.

La première étape de la métallurgie du minéral de plomb consiste en un grillage de la galène PbS, menée à une température inférieure à celle de sa fusion, selon la réaction notée (1) :



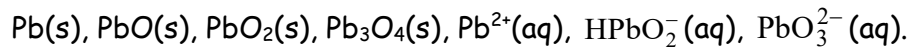
Q3 Représenter une structure de Lewis du dioxyde de soufre SO_2 . En déduire, d'après la théorie VSEPR, la géométrie autour de l'atome central.

Q4 Justifier que le dioxyde de soufre est polaire. Représenter son moment dipolaire.

1.3 Le plomb en solution aqueuse

♦ Diagramme E-pH du plomb à 300 K

Les espèces prises en compte pour la construction du diagramme E-pH du plomb représenté ci-après (figure 2) sont les suivantes :

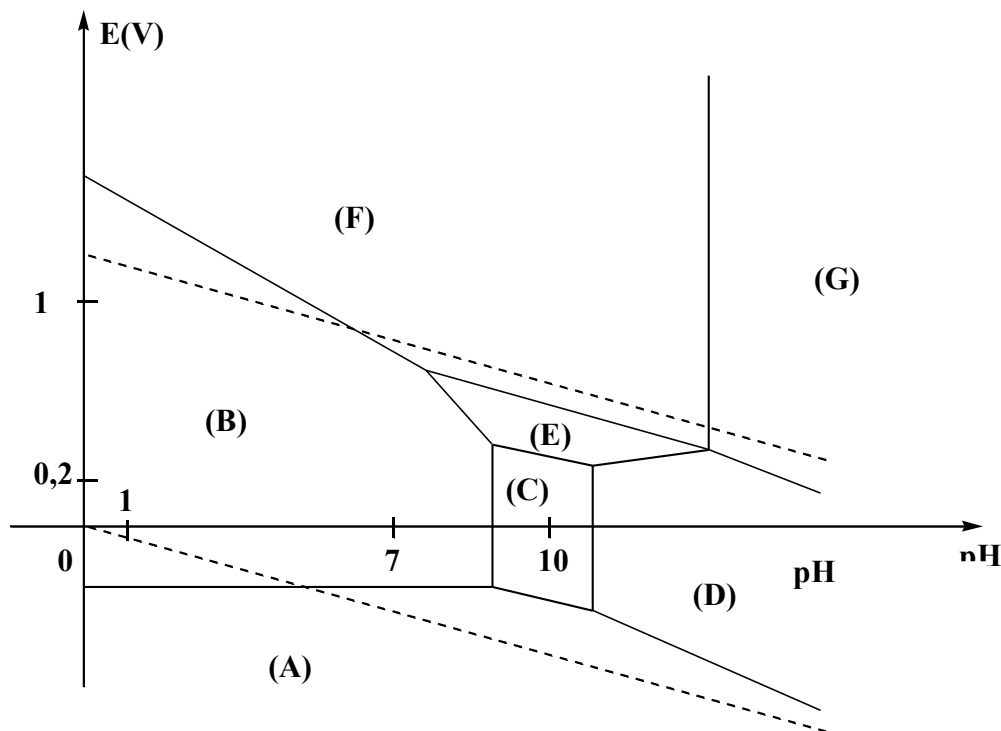


Conventions de tracé du diagramme E-pH :

La concentration de chaque espèce dissoute est égale à : $C = 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

On suppose qu'à la frontière entre deux espèces dissoutes, il y a égalité des concentrations molaires entre ces deux espèces.

En pointillés, sont représentées les droites frontières relatives aux couples redox de l'eau.



Q5 Attribuer chacun des domaines du diagramme E-pH à l'une des espèces chimiques prises en compte pour la construction de ce diagramme. Justifier votre réponse.

Q6 Déterminer la valeur de la pente de la droite frontière entre les domaines de $\text{PbO}_2\text{(s)}$ et $\text{Pb}^{2+}\text{(aq)}$.

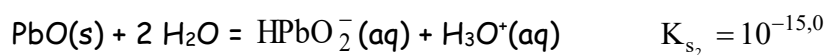
Q7 Calculer les valeurs de pH limites du domaine d'existence de PbO(s) .

Q8 Ecrire, à l'aide du diagramme, l'équation de transformation du plomb au contact d'une eau aérée et de pH voisin de 7, contenue dans une canalisation au plomb.

Données à 300 K :

Numéro atomique :	C : 6 ; N : 7 ; O : 8 ; S : 16 ; Pb : 82
Rayon ionique en pm :	$R(\text{Pb}^{2+}) \approx 120$; $R(\text{S}^{2-}) \approx 180$
Masse molaire :	$M(\text{PbS}) \approx 240 \text{ g.mol}^{-1}$
Nombre d'Avogadro :	$N_a \approx 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante des gaz parfaits :	$R \approx 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Produit de solubilité K_s :

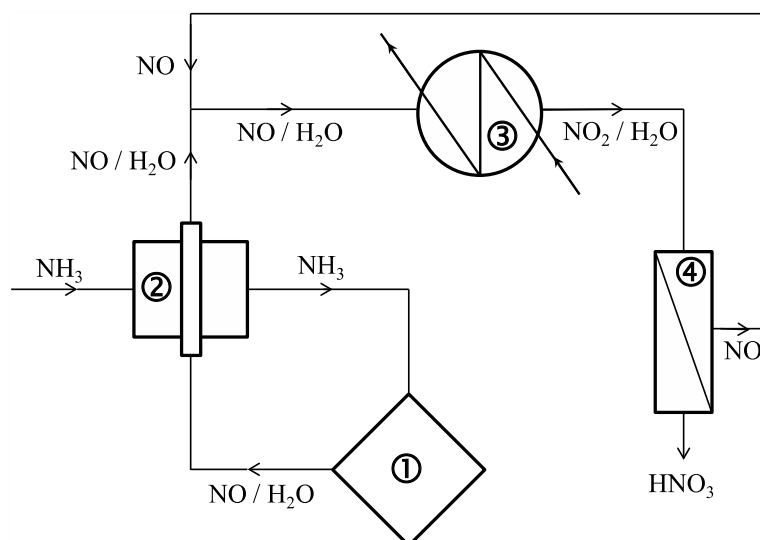


Constante d'équilibre d'autoprotolyse de l'eau : $K_e = 10^{-14}$

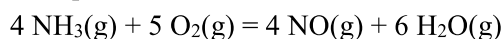
Partie D - Cinétique

Document 6 - Synthèse de l'acide nitrique

L'acide nitrique HNO_3 est un composé très important dans l'industrie chimique. Il est notamment utilisé pour fabriquer des engrais comme le nitrate d'ammonium NH_4NO_3 . Son procédé de synthèse, à partir de l'ammoniac NH_3 , a été breveté en 1902 par Wilhelm Ostwald ; le schéma simplifié du procédé industriel est présenté ci-dessous :



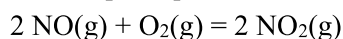
① est un four à catalyseur Pt-Rh dans lequel a lieu la combustion de l'ammoniac NH_3 à pression constante $P = 1,0$ bar et à haute température selon la réaction :



La température optimale d'action du catalyseur est de 650°C . Il faut éviter un échauffement excessif et donc avoir une durée de contact très faible d'environ 1 ms.

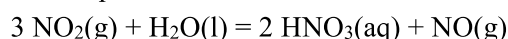
② est un échangeur de chaleur permettant de refroidir les gaz sortants du four ① et de préchauffer l'ammoniac entrant dans le four.

③ est un réacteur au sein duquel la température du monoxyde d'azote est abaissée à 100°C , lui permettant de réagir avec le dioxygène atmosphérique selon la réaction :



Ce réacteur ③, parfaitement agité de volume $V = 100$ L et supposé isotherme, est alimenté par un débit volumique constant $D = 50 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ en monoxyde d'azote de pression à l'entrée $P(\text{NO})_0 = 1,0$ bar. En régime permanent, on observe que la pression $P(\text{NO})_1$ au sein de ce réacteur est constante au cours du temps.

④ est une cuve séparatrice contenant de l'eau dans laquelle le dioxyde d'azote est dissous à température ambiante pour former de l'acide nitrique fumant selon la réaction :



Document 6 (suite) - Synthèse de l'acide nitrique

Afin d'étudier la cinétique de la réaction se déroulant dans le réacteur ③, on réalise au laboratoire deux suivis expérimentaux à 25 °C de la pression en réactifs au cours du temps pour des pressions initiales différentes ; on obtient les résultats suivants :

- Expérience 1 : $p(\text{NO})_0 = 24,8 \text{ Pa}$ et $p(\text{O}_2)_0 = 1,24 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

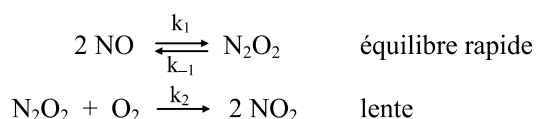
Temps t (min)	1,0	2,0	4,0	8,0	12,0	20,0	30,0
p(NO) (Pa)	23,8	22,8	21,1	18,4	16,1	13,1	10,7

- Expérience 2 : $p(\text{NO})_0 = 1,24 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ et $p(\text{O}_2)_0 = 24,8 \text{ Pa}$

Temps t (s)	10	20	30	60	120	240	360
p(O ₂) (Pa)	23,1	21,3	19,8	15,9	10,2	4,2	1,7

On fait l'hypothèse que la vitesse de la réaction s'écrit sous la forme $v = k[\text{NO}]^p[\text{O}_2]^q$, p et q étant des nombres quelconques et k étant la constante de vitesse de la réaction.

Le mécanisme proposé pour cette réaction est le suivant :



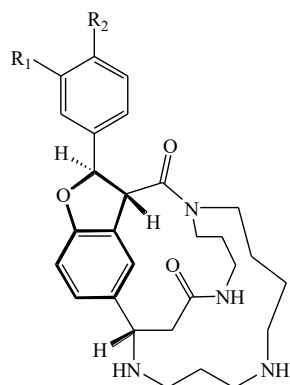
Source : <http://www4.ac-nancy-metz.fr>

Q1. Pour un gaz parfait, rappeler la relation entre sa pression et sa concentration molaire. Expliquer pourquoi chacune des deux expériences 1 et 2 présentées dans le **document 6** permet de déterminer l'un des ordres partiels par rapport à l'un des deux réactifs de la réaction d'oxydation du monoxyde d'azote.

Q2. À partir des valeurs expérimentales présentées dans le **document 6**, montrer, en détaillant la démarche, que l'ordre partiel par rapport au monoxyde d'azote vaut $p = 2$. On admettra que l'ordre partiel par rapport au dioxygène vaut $q = 1$.

Q3. En détaillant la démarche, vérifier que le mécanisme proposé pour cette réaction est bien en accord avec la loi de vitesse déterminée à la question **Q2**.

Partie E - Autour des éphédradines



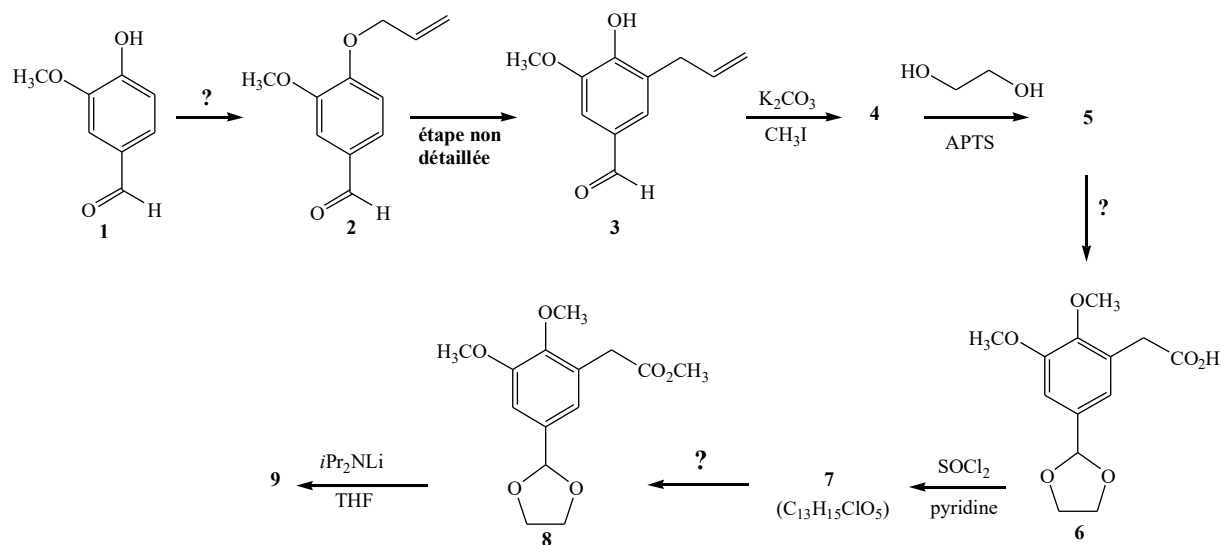
$R_1 = H; R_2 = OH$: éphédradine A
 $R_1 = OCH_3; R_2 = OH$: éphédradine B
 $R_1 = R_2 = OCH_3$: éphédradine C

De nombreux alcaloïdes faisant partie de la classe des éphédradines présentent comme point commun le motif « aryldihydrofurane », à savoir deux cycles aromatiques et un dihydrofurane (1-oxacyclopent-2-ène).

Nous nous intéressons ici à la synthèse de ce motif à partir de la vanilline.

1 Synthèse du composé 9 à partir de la vanilline 1.

La vanilline 1 est transformée en composé 9 suivant le schéma réactionnel développé ci-dessous.



1.1 Indiquer la nature des réactifs permettant la formation du composé 2 à partir de 1, ainsi que le mécanisme de sa formation.

L'aldéhyde 2 est ensuite transformé en composé 3 suivant un processus qui ne sera pas détaillé ici.

1.2 On traite ensuite 3 par l'iodométhane en présence de carbonate de potassium. Représenter la structure topologique du composé 4 obtenu.

1.3 Le composé 4 est ensuite traité en présence d'éthane-1,2-diol et d'acide para toluène sulfonique (APTS) pour conduire à 5. Représenter la structure de 5 et le

mécanisme de sa formation en utilisant des notations simplifiées. Quel avantage y-a-t-il à utiliser l'APTS lors de cette étape ?

1.4 Le composé **6**, traité par le chlorure de thionyle (SOCl_2) en présence de pyridine conduit à la formation de **7** ($\text{C}_{13}\text{H}_{15}\text{ClO}_5$). Représenter la structure du composé **7**.

1.5 Proposer un réactif permettant de former **8**. Quel est le nom de la fonction chimique formée ?

(Indication non fournie dans l'énoncé original : cette réaction d'estérification est au programme de PC et n'a donc pas encore été étudiée. Il faut proposer comme réactif un alcool).

1.6 Le composé **8**, traité par du diisopropyle amidure de lithium (LDA) conduit au sel **9**. Quel(s) hydrogène(s) du composé **8** a (ont) des propriétés acides ? Justifier. En déduire la structure de **9**.

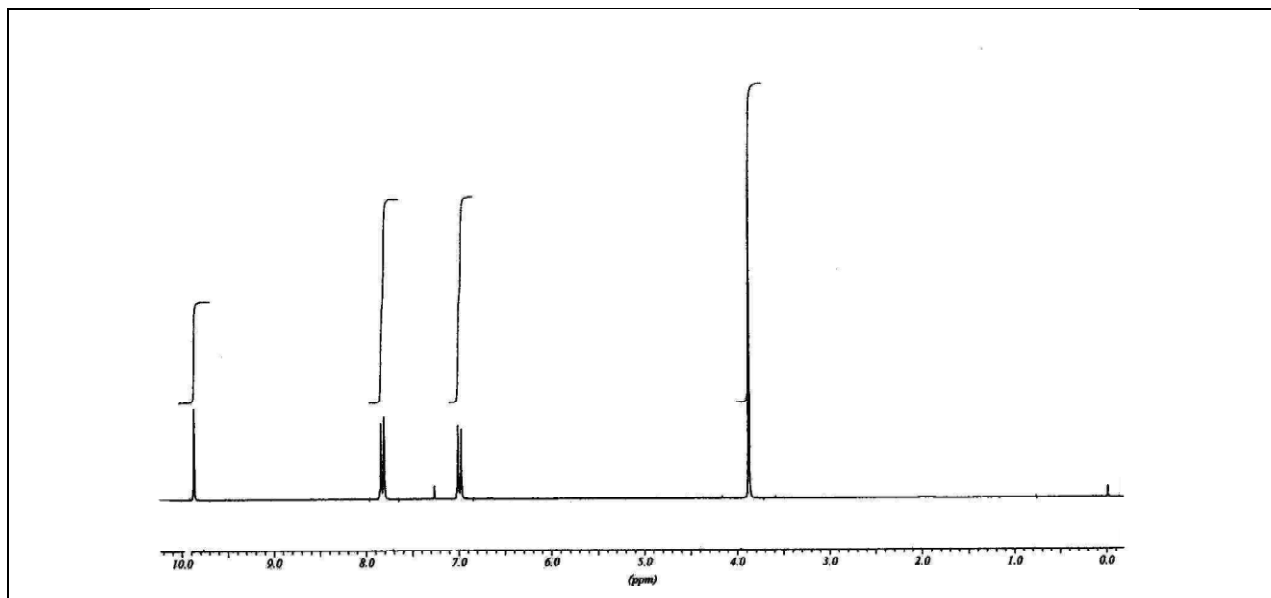
(Indication non fournie dans l'énoncé original : pour trouver quel proton est acide, dessinez la base conjuguée et regardez si elle est stabilisée par mésomérie. Qui dit base stabilisée dit acide conjuguée relativement fort).

2 Détermination de la structure du produit 10

Le composé **9** est ensuite mis en réaction en présence de **10** de formule brute $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$. La structure topologique de **10** peut être déterminée à l'aide des analyses RMN ^1H et IR ci-dessous.

2.1 Calculer le nombre d'insaturations du composé **10**.

Le spectre RMN ^1H (à 250 MHz) de **10**, effectué dans CDCl_3 est donné ci-dessous :



2.2 Analyser le spectre, en remplissant le tableau suivant **qui sera reproduit sur votre copie** :

déplacement chimique en ppm	Multiplicité	intégration du signal	attribution

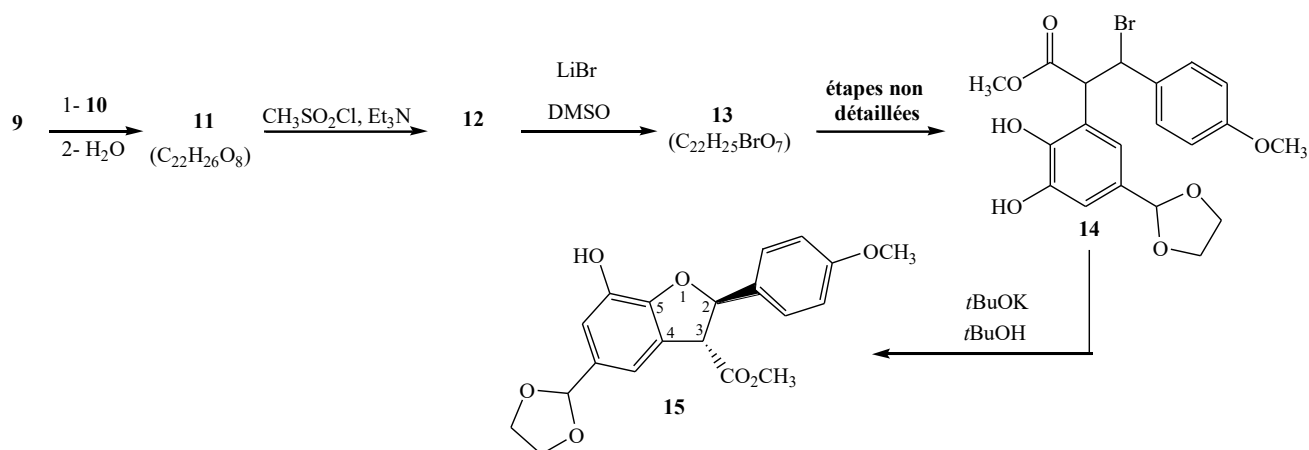
Le spectre IR du composé **10** présente les quatre bandes caractéristiques suivantes : 3035, 2911, 1702, 1601 cm^{-1} .

2.3 Attribuer les bandes de vibration correspondant à ces valeurs.

2.4 En déduire la structure du composé **10**.

3 Obtention du motif « aryldihydrofurane ».

Le composé aryldihydrofurane **15** est obtenu suivant la suite de réactions détaillée ci-dessous.



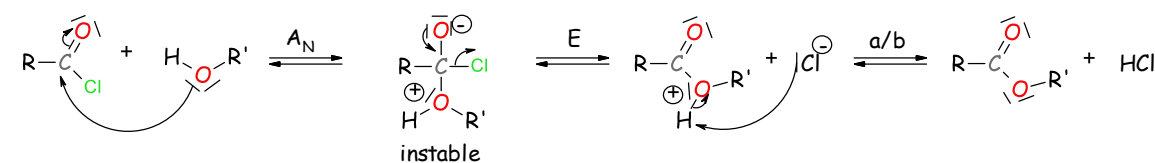
3.1 Représenter la structure de **11** ($\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{O}_8$). Expliciter le mécanisme de sa formation.

(Indication non fournie dans l'énoncé original : cette réaction est au programme de PC, et s'appelle une aldolisation. La première étape est une A_N puis une réaction a/b).

3.2 Le composé **11** ($\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{O}_8$) est mis en présence de chlorure de mésytille ($\text{CH}_3\text{SO}_2\text{Cl}$) et de triéthylamine pour conduire à **12**. Cette réaction est analogue à l'attaque d'un alcool sur un chlorure d'acyle, fournie sur le document ci-dessous. Donner la

structure de **12**. Proposer un mécanisme pour cette réaction en utilisant l'écriture simplifiée R-OH pour le composé **11**.

Mécanisme d'un alcool sur un chlorure d'acyle de formule générale R-CO-Cl (-Cl est noté -Z dans le mécanisme) :



3.3 Le composé **12**, traité par une solution de LiBr dans le diméthylsulfoxyde (DMSO) conduit à **13**. Ecrire la structure de **13** ($C_{22}H_{25}BrO_7$). Ecrire le mécanisme de sa formation.

Le composé **13** est transformé en composé **14** suivant des étapes non étudiées ici.

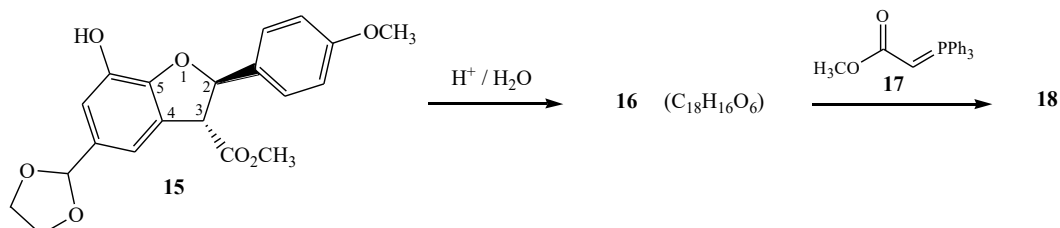
3.4 Le dérivé bromé **14** traité par le *tert*-butylate de potassium comme base conduit à **15**. Proposer un mécanisme pour cette transformation, sans tenir compte de la diastéréosélectivité observée.

3.5 La molécule **15** est-elle chirale ? Justifier votre réponse.

3.6 Combien de centres asymétriques possède le composé **15** ? Donner la configuration absolue de ces centres en justifiant votre réponse.

3.7 Combien **15** possède-t-il d'énantiomères et de diastéréoisomères éventuels ? Les représenter en indiquant les relations de stéréoisométrie ; on utilisera une représentation simplifiée.

Le composé **15** est enfin traité de la façon suivante :



3.8 Représenter la structure du composé **16**. Quel est le rôle de cette étape ?

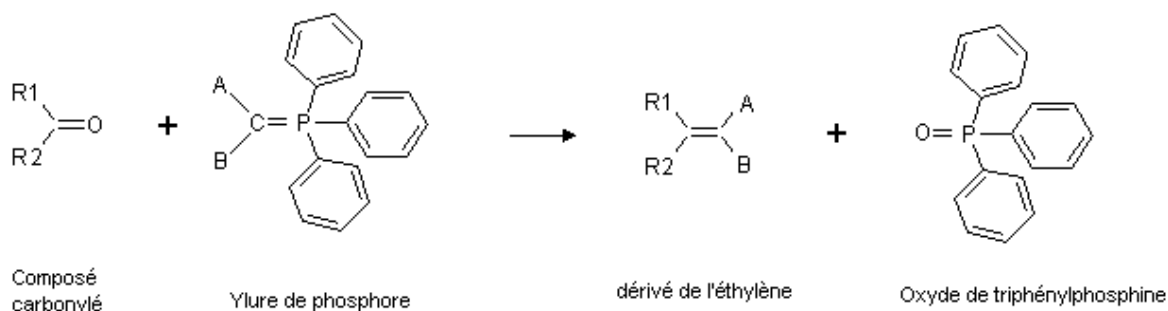
3.9 Le produit **16** est mis en réaction avec l'ylure de phosphore **17** pour conduire à **18**. A l'aide du **document 1**, donner la structure de **18**.

Document 1 : réaction de Wittig

La réaction de Wittig est un cas particulier des additions nucléophiles. Il s'agit de l'addition d'un ylure de phosphore (phosphorane) (souvent appelé réactif de Wittig) sur un composé carbonylé (aldéhydes et cétones) pour former des composés éthyléniques (éthylène substitué).

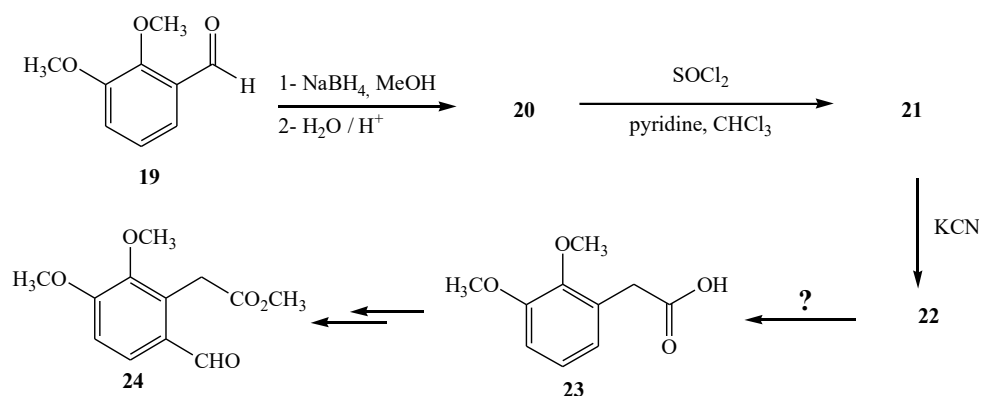
Georg Wittig a reçu en 1979 le prix Nobel de chimie pour la découverte de cette nouvelle méthode de synthèse d'alcènes.

Exemple :



4 Synthèse d'un nouvel aldéhyde aromatique dans le but d'obtenir des analogues de 15

D'autres structures de type aryldihydrobenzofurane peuvent être obtenues en modifiant la nature de l'aldéhyde aromatique mis en jeu lors de la synthèse. Pour cela la synthèse suivante a été menée :



4.1 Représenter la structure des composés **20** et **21**. Le passage de **20** à **21** aurait également pu être obtenu en traitant **20** par HCl.

4.2 Le composé **21** réagit avec du cyanure de potassium. Donner la structure du composé **22** obtenu. Quel est le nom de la fonction chimique ainsi formée ?

Données

Données spectrales

RMN ^1H : gamme de déplacements chimiques :

	$\text{CH}_3\text{-C}$	$\text{-CH}_2\text{-CO-}$	$\begin{matrix} \text{R-} \\ \text{COOCH-} \end{matrix}$	$\text{-CH}_2\text{OR}$	$\begin{matrix} \text{CH} \\ \text{aromatique} \end{matrix}$	R-CHO
δ ppm	0,9-1,1	2,0-3,0	3,7-4,5	4,7-6,2	6,8-7,9	9,5-10,2

INFRAROUGE : nombres d'onde de vibration de quelques groupes fonctionnels

Groupe fonctionnel	OH libre	OH lié	CH aromatique	CH alcane	C=O aldéhyde conjugué
ν (cm^{-1})	3600	3300-3550	3075-3030	2970-2910	1700-1720

Groupe fonctionnel	C=O ester saturé conjugué	C=O cétone conjugué	C=C alcène	C=C aromatique
ν (cm^{-1})	1715-1730	1685-1705	1640-1690	1620-1565

Données

atome	H	C	N	O	S	Cu	Ag
numéro atomique	1	6	7	8	16	29	47

Fin de l'énoncé