

PC* 2025/ 2026

BelleVue

DS de chimie 4 – 30 janvier 2026

Sujet 1

▪Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la **précision** et à la **concision** de la rédaction.

Toute réponse doit être justifiée; une réponse non justifiée ne donnera pas lieu à attribution des points .

Les expressions littérales sont systématiquement attendues .

▪Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre .

▪L'utilisation de la calculatrice est autorisée .

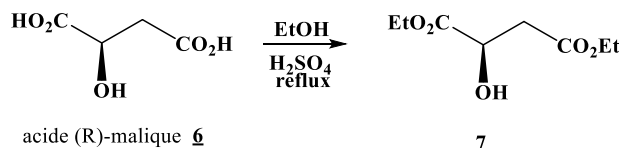
▪Une **présentation soignée est attendue** : écriture nette, absence de ratures, **résultats encadrés** ,rappel des numéros de questions , espace entre 2 réponses pour aérer la copie .

☞ **Le non respect de ces consignes de présentation entrainera l'absence de correction et d'évaluation de la copie .**

Des données nécessaires à la résolution de certaines questions sont reportées page 11 en fin d'énoncé

Questions préliminaires (indépendantes)

A. L'acide (R)-malique (**6**) est estérifié à l'aide d'éthanol en excès en utilisant le protocole suivant : à une solution d'acide (R)-malique (**6**) (6,7 g) dans l'éthanol (300 mL) sont ajoutés 1,4 mL d'acide sulfurique à 99,8 %. Le mélange est chauffé au reflux pendant 2 heures, concentré sous vide puis purifié par chromatographie sur gel de silice pour donner 8,6 g du diester **7** sous forme d'une huile incolore.



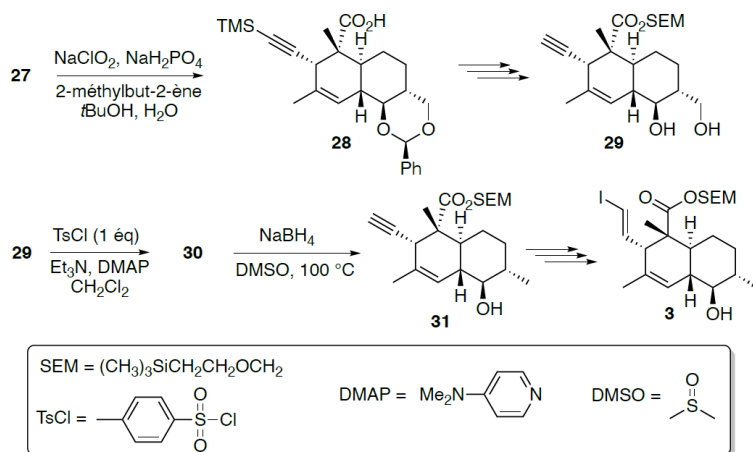
A1-Proposer un mécanisme pour la réaction d'estérification d'un acide carboxylique (noté RCO₂H) par de l'éthanol en milieu acide.

A2- Calculer le rendement obtenu dans cette première étape. Quelles sont les conditions utilisées qui permettent d'optimiser le rendement de cette réaction ?

.....

B. Synthèse de l'iodure vinylique 3

L'aldéhyde **27** est transformé en iodure vinylique **3** en quelques étapes que nous allons étudier. Il subit dans un premier temps une réaction d'oxydation de Pinnick utilisant du chlorite de sodium NaClO₂ et un agent phosphore pour ses propriétés acides, le dihydrogenophosphate de sodium. L'acide carboxylique **28** est ainsi obtenu ; il est ensuite transformé en diol **29** en trois étapes, l'une de ces trois étapes étant une hydrolyse acide de l'acétal présent dans le composé **28** par l'acide éthanoïque aqueux.



B1- Proposer une structure de Lewis de l'ion chlorite ClO_2^- .

B2- Ecrire le bilan de la réaction entre les ions chlorite ClO_2^- et les ions dihydrogenophosphate. Calculer la constante d'équilibre de cette réaction.

B3- Expliquer pourquoi un mélange des deux solvants *tert*-butanol/eau est employé lors de la réaction de formation de **28**.

B4- Sachant que la première étape est une activation électrophile de l'aldéhyde **27**, proposer un mécanisme réactionnel expliquant la formation de l'acide **28**. On note que de l'acide hypochloreux HClO est formé.

B5 - Proposer un mécanisme pour l'hydrolyse en milieu acide de la fonction acétal du composé **28** (on utilisera une notation simplifiée pour **28**).

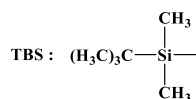
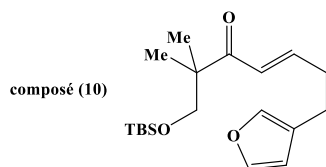
L'alcool primaire du diol **29** est ensuite réduit en alcane en deux étapes pour conduire au composé **31** qui est finalement transformé en iodure vinylique **3** (Schéma 6).

B4- Donner la structure du composé **30**. Expliquer la régiosélectivité de cette réaction.

B5 - Quel type de réaction permet d'obtenir le composé **31** à partir du composé **30** ? Aurait-on pu utiliser de l'hydruure de sodium à la place du borohydrure de sodium ? Justifier.

C. Soit la description suivante du spectre RMN^1H du composé (10) . Identifier les groupes de protons magnétiquement équivalents sur cette molécule et attribuer chacun des signaux observés .

^1H NMR (250 MHz, Chloroform- d) : δ = 7,35 - 7,27 (m, 1H) ; 7,25 - 7,17 (m, 1H) ; 6,74 (dt, J = 14,7, 5,3 Hz, 1H) ; 6,30 - 6,21 (m, 1H) ; 6,14 (d, J = 14,7 Hz, 1H) ; 3,79 (s, 2H) ; 2,65 (t, J = 7,4 Hz, 2H) ; 2,56 2,40 (m, 2H) ; 1,18 (s, 6H) ; 0,90 (s, 9H) ; 0,12 (s, 6H)



Comment expliquer la différence entre le déplacement chimique des groupements méthyle à côté du motif cétone et celui des groupements méthyle portés par le silicium ?

Deuxième partie

L'élément phosphore se situe dans la XV^{ème} colonne et troisième période du tableau périodique des éléments ; il fait ainsi partie de la famille des pnictogènes. Son nom dérive du grec phosphoros qui signifie "porteur de lumière", à cause de la forte lumière que celui-ci produit à l'air libre. Cet élément fut découvert par Henning Brandt en 1669 à partir de l'urine, au cours de ses tentatives de découverte de la pierre philosophale. L'utilisation de composés phosphorés est aujourd'hui très diverse : ses propriétés inflammables sont notamment utilisées dans les allumettes ou pour des usages militaires, ses propriétés de nutriment sont utilisées dans les engrais ou dans des additifs. L'élément phosphore est également très présent dans le vivant, car il entre dans la composition de l'adénosine (di ou tri)phosphate qui constitue la source d'énergie des cellules vivantes.

À l'état solide, l'élément phosphore présente plusieurs variétés allotropiques dont les deux principales sont le phosphore blanc – toxique et inflammable – et le phosphore rouge – inflammable mais non toxique.

La réduction des ions phosphate contenus dans l'apatite produit du phosphore blanc solide, dont la formule brute est P_4 et qui cristallise dans une structure cubique centrée (figure 1). Cette forme constitue l'état standard de référence du phosphore à 300 K. Le phosphore rouge est quant à lui amorphe.

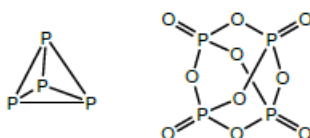


FIGURE 1 – Structure du phosphore blanc $P_{4(s)}$ (gauche) et de l'oxyde de phosphore P_4O_{10} (droite).

Q1. Énoncer les deux règles de construction des configurations électroniques. Donner la configuration électronique du phosphore à l'état fondamental et identifier ses électrons de valence.

Q2. Représenter une maille de phosphore blanc, en assimilant le motif à une sphère. Déterminer la compacité de ce cristal et donner une valeur numérique de cette compacité.

Q3. Rappeler la définition de l'état standard de référence d'un élément.

Q4. Déterminer l'enthalpie standard et l'entropie standard de la réaction de changement d'état du phosphore blanc en phosphore rouge solide, de formule P , supposées indépendantes de la température.

Q5. Montrer que la variété allotropique du phosphore la plus stable à 300 K et à pression standard est le phosphore rouge. Commenter le fait que la réduction de l'apatite forme du phosphore blanc dans les conditions normales de pression et température.

Le phosphore rouge est notamment utilisé sur le côté des boîtes d'allumettes. Par friction, la température s'élève et il se forme du phosphore blanc qui s'enflamme spontanément au contact de l'air. Cela initie la flamme, qui est ensuite maintenue pendant plusieurs secondes par combustion du bois de l'allumette et de la paraffine dont il est imbibé.

Cela fonctionne si la flamme initiale est assez chaude pour déclencher la combustion de la paraffine, en sublimant les $10\text{mg}(2,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol})$ de paraffine présents sur la tête de l'allumette.

Q6. Déterminer l'énergie thermique E_{sub} nécessaire pour sublimer totalement 10 mg de paraffine, initialement à 300 K et à pression atmosphérique.

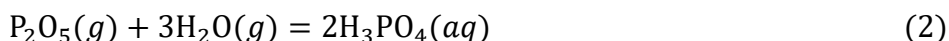
Synthèse de l'acide phosphorique H_3PO_4

L'un des procédés les plus utilisés pour former de l'acide phosphorique à partir du phosphore blanc est le procédé thermique. L'acide phosphorique ainsi obtenu présente une haute pureté et peut être utilisé dans les engrais ou pour des applications pharmaceutiques ou alimentaires.

Il se décompose en trois étapes :

i. combustion du phosphore blanc à l'état gazeux au contact de l'air pour former du pentaoxyde de diphosphore (P_2O_5) gazeux selon la réaction (1) qui sera étudiée à la question Q7. Cette étape est réalisée dans un réacteur ouvert parfaitement agité continu isochore (RPAC), qui fonctionne en régime permanent stationnaire à une pression de 2 bar et à une température de 1700 K ;

ii. hydratation du pentaoxyde de diphosphore à l'aide de vapeur d'eau pour former l'acide phosphorique selon la réaction (2) :



iii. refroidissement de l'acide phosphorique obtenu et retraitement des vapeurs issues du réacteur pour en extraire l'acide phosphorique avant de les rejeter vers l'extérieur.

On s'intéressera dans cette partie uniquement à la première étape. Le schéma global du procédé thermique est présenté à la figure 5.

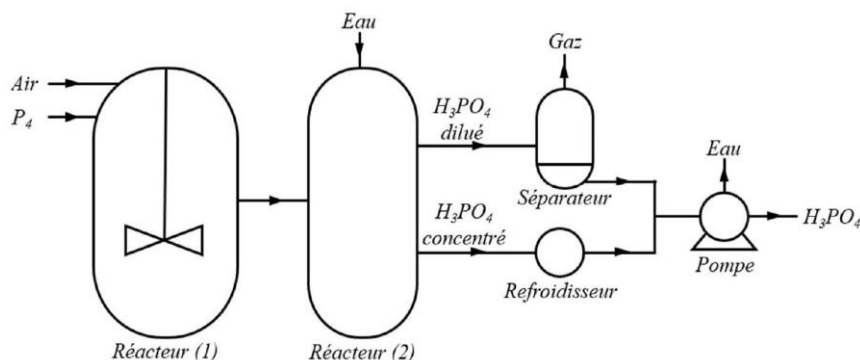


Figure 5 – Schéma du procédé thermique pour la production d'acide phosphorique

La constante thermodynamique d'équilibre de la réaction (1), écrite pour une mole de phosphore blanc, vaut $K_1^0 = 10^{48}$, et l'enthalpie standard de la réaction est $\Delta_r H_1^0 = -3 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Q7. Écrire l'équation de la réaction (1). Indiquer l'influence d'une augmentation de pression à température constante sur cet équilibre à l'aide d'un raisonnement sur l'expression du quotient réactionnel. Indiquer ensuite l'influence d'une augmentation de température à pression constante sur cet équilibre.

Q8. Commenter les conditions réactionnelles retenues par les industriels.

Les débits en quantité de matière pour le phosphore blanc dans le réacteur (1) sont notés $F_e(P_4(g)) = 1,1 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ en entrée et $F_s(P_4(g))$ en sortie. Le débit en volume total en sortie de réacteur est $Q_{V,s} = 140 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. Le taux de conversion au sein de ce réacteur est $X_s = 99,9\%$. La loi de vitesse de la réaction (1) peut s'écrire sous la forme : $v = k[P_4]$, avec une constante de vitesse $k = 50 \text{ s}^{-1}$.

Q9. Effectuer un bilan de matière sur le phosphore blanc au sein du réacteur (1). En déduire une relation entre la vitesse de réaction v , le volume V du réacteur et les débits en quantité de matière de phosphore blanc en entrée $F_e(P_4)$ et sortie $F_s(P_4)$.

Q10. Déterminer la valeur du volume du réacteur (1) pour un fonctionnement avec le taux de conversion souhaité.

Q11. Le taux de conversion obtenu en remplaçant le réacteur (1) par un réacteur RPAC de volume $V' = 6 \text{ m}^3$, le débit sortant étant inchangé, est $X'_s = 99,95\%$. Commenter.

Dosage des phosphates dans une eau de rivière

Les phosphates d'ammonium et de potassium sont les composants principaux des engrais agricoles. L'utilisation excessive d'engrais peut entraîner une pollution de l'environnement par des ions phosphate (PO_4^{3-}). Ces ions sont sans danger pour la santé humaine, mais un excès de phosphates dans les plans d'eau ou rivières entraîne une eutrophisation, c'est-à-dire une surpopulation d'algues qui amène à un appauvrissement de l'eau en dioxygène et à la disparition des espèces aquatiques.

Les quantités d'engrais utilisées sont ainsi réglementées pour assurer une teneur en ions phosphate inférieure à $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ dans les eaux, contrôlable par dosage spectrophotométrique selon une méthode décrite par Pradhan et al. et présentée ci-dessous.

L'acide phosphorique réagit en milieu acide en présence de molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$) pour former un complexe phosphomolybdate de couleur jaune ($[(\text{MoO}_3)_{12}(\text{PO}_4)]^{3-}(\text{aq})$), noté C_1 , selon une transformation modélisée par la réaction (3), quantitative :



Le complexe phosphomolybdate réagit ensuite avec de l'acide ascorbique (noté AscH_2) pour former un complexe de couleur bleue ($[(\text{MoO}_3)_{12}(\text{PO}_4)]^{7-}(\text{aq})$), noté C_2 , par la réaction (4) qui sera étudiée à la question Q14. La couleur bleue provient de la modification du nombre d'électrons du complexe.

Une courbe d'étalonnage est réalisée à partir de solutions d'acide phosphorique de concentrations connues, selon le même protocole qui est ensuite utilisé pour la solution à tester :

Dans une fiole jaugée de 25 mL sont introduits un prélèvement de **2 mL** de l'eau à tester, **1 mL** d'acide sulfurique à $10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 2 mL d'une solution de molybdate d'ammonium à $0,13 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, et 1 mL d'acide ascorbique à $0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. De l'eau distillée est ajoutée jusqu'au trait de jauge. Après 35 min, l'absorbance de la solution est mesurée à 835 nm.

La figure 6 présente le spectre d'absorption d'une solution aqueuse du complexe C_2 et la figure 7 la courbe d'étalonnage obtenue à 835 nm en appliquant le protocole précédent à des solutions étalon d'acide phosphorique. Le complexe C_1 n'absorbe pas à cette longueur d'onde.

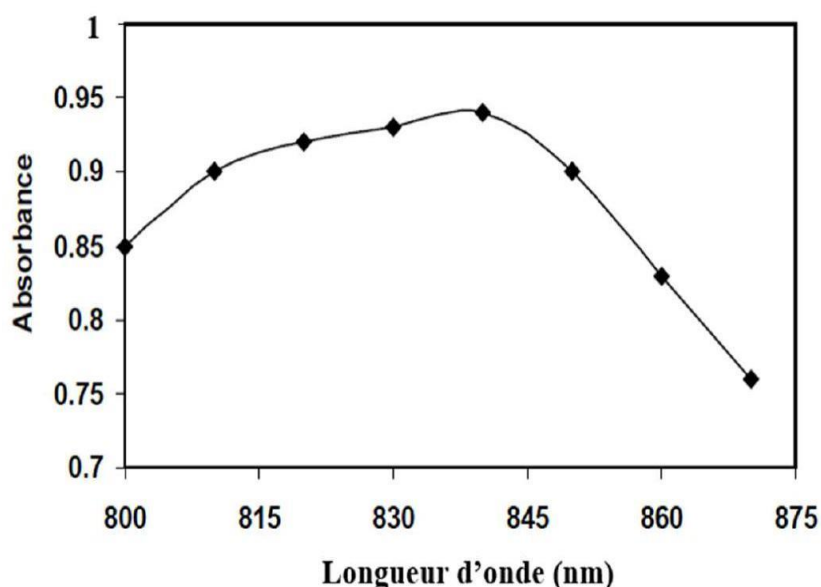


Figure 6 - Spectre d'absorption du complexe C_2 en solution aqueuse

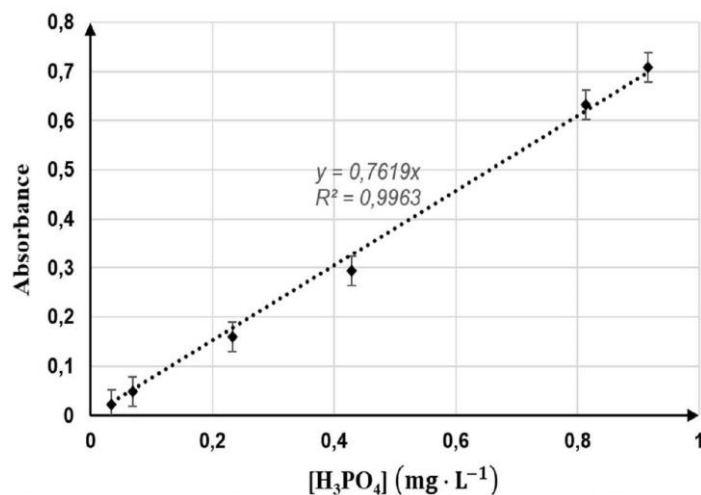


Figure 7 - Courbe d'étalonnage réalisée avec des solutions de concentrations connues en acide phosphorique (absorbance mesurée à 835 nm)

Q12. Préciser la verrerie à utiliser pour prélever les volumes mentionnés en gras dans le protocole. Expliquer pourquoi on ne réalise pas un dosage pH-métrique de l'acide phosphorique provenant de l'engrais par une solution de soude.

Q13. Représenter le diagramme de prédominance de l'acide phosphorique. Indiquer sous quelle forme majoritaire se trouvent les ions phosphate dans la solution réalisée. On supposera que les espèces présentes dans l'eau dosée sont à très faible concentration.

Q14. Sachant que le couple $[(\text{MoO}_3)_2(\text{PO}_4)]^{3-}(\text{aq})/[(\text{MoO}_3)_2(\text{PO}_4)]^{7-}(\text{aq})$ est un couple d'oxydoréduction, écrire l'équation de la réaction (4) et justifier qu'elle est quantitative à 25°C.

Q15. Rappeler les conditions d'application de la loi de Beer-Lambert. Déterminer l'expression littérale de l'absorbance de la solution finale à 835 nm et justifier qu'elle est proportionnelle à la concentration de l'échantillon en ions phosphate, notée c_0 .

L'eau d'une rivière est dosée selon ce protocole. L'absorbance de la solution finale à 835 nm s'élève à 0,25. Le spectrophotomètre utilisé a une précision de mesure de 0,05 en absorbance.

Q16. Cette eau respecte-t-elle la réglementation ? On négligera les incertitudes dues aux mesures de volume devant l'incertitude due à la mesure par le spectrophotomètre.

Le phosphore comme ligand en chimie de coordination

Les phosphines (PR_3) sont très utilisées comme ligand en chimie de coordination. La plus courante étant la triphenylphosphine PPh_3 .

A titre d'exemple, on étudie dans cette partie la création de liaison carbone-carbone par couplage palladocatalysé de Suzuki grâce à des complexes de palladium à base de ligands phosphorés. Le bilan général de cette réaction est donné sur la figure 3.

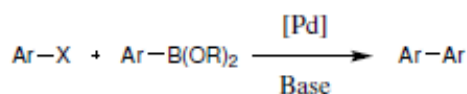


FIGURE 3 – Bilan d'une réaction de couplage de Suzuki. Ar = aryle, X = halogène, R = alkyl, [Pd] est un Complexe de palladium (0).

On étudie dans un premier temps l'utilisation du tetra(triphenylphosphine)palladium (0) $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4]$ comme catalyseur (Figure 4). Une première étude orbitale de ce complexe est proposée ci-dessous. Seul le caractère σ -donneur des ligands triphenylphosphine sera pris en compte ici.

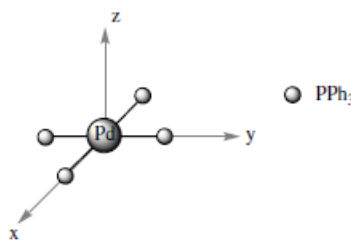


Figure 4

Q17. Justifier le fait que les trialkylphosphines soient en général de bons ligands. Donner le nombre d'électrons du ligand contribuant à la coordination.

Q18. Donner la configuration électronique du palladium et identifier ses électrons de valence.

Les orbitales du fragment $(\text{PPh}_3)_4$ en géométrie plan carré sont données sur la figure 5 .

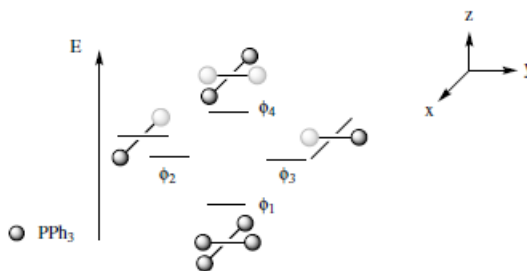


FIGURE 5 – Diagramme d'orbitales moléculaires du fragment $(\text{PPh}_3)_4$ en géométrie plan carré.

Q19. Analyser les symétries selon les plans Oxy, Oyz et Oxz ainsi que l'axe de rotation Oz (rotation de 90°) des orbitales 4d, 5s et 5p du métal ainsi que les orbitales Φ_i ($i=1-4$) du fragment $(\text{PPh}_3)_4$.

Q20. Identifier les recouvrements possibles entre ces différentes orbitales.

Q21. Identifier pour chacune des orbitales moléculaires du complexe $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4]$ (cf . annexe) les différentes orbitales dont elles sont issues.

Aucune représentation des orbitales n'est attendue. On pourra noter OM_i ($i=1$ à 13) les orbitales moléculaires du complexe, en partant du bas.

Q22. Remplir le diagramme d'orbitales moléculaires et identifier l'orbitale la plus haute occupée (HO) et la plus basse vacante (BV) du complexe. Représenter l'orbitale HO.

On étudie la synthèse du biphenyle (Ph-Ph) par couplage de Suzuki à partir de l'iodobenzène (0,5 mmol) et l'acide phénylboronique (0,6 mmol). La synthèse s'effectue dans l'eau en présence de bromure de tétrabutylammonium (TBAB, 0,5 mmol), de carbonate de potassium (1,5 mmol) et de $[Pd(PPh_3)_4]$ en quantité catalytique. Le cycle catalytique de cette réaction est présenté sur la figure 6. Le turnover number (TON) de cette réaction est de 2941.

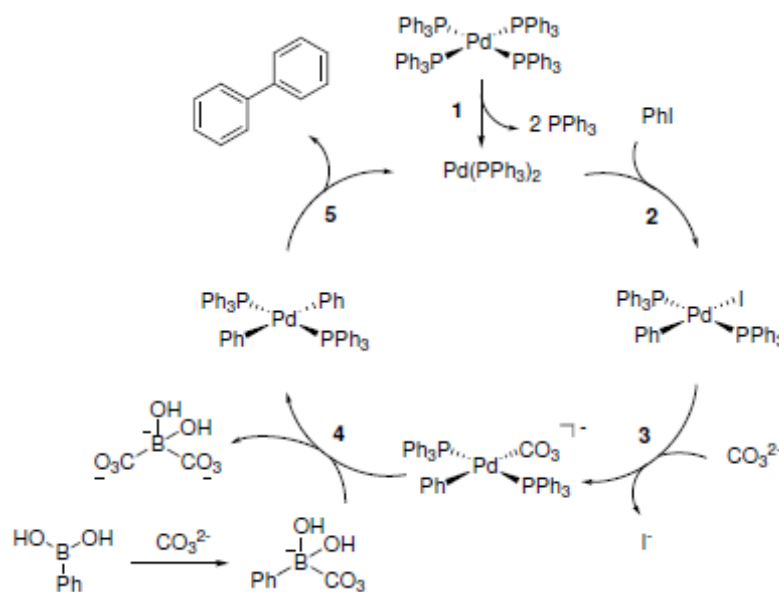


FIGURE 6 – Cycle catalytique du couplage de Suzuki entre l'iodobenzène et l'acide phénylboronique.

Q23. Donner le bilan du cycle catalytique.

Q24. Nommer les différentes étapes du cycle catalytique. Justifier en comptant le nombre d'électrons de valence de chacun des complexes de palladium ainsi que le degré d'oxydation du métal.

Q25. Justifier l'utilisation du TBAB dans cette synthèse.

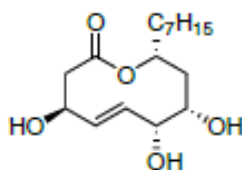
Q26. Donner un sens physique au "TON". Commenter sa valeur.

Le phosphore en chimie organique

Le phosphore présente des propriétés très intéressantes en chimie organique de par sa diversité.

Il est essentiellement impliqué dans des espèces réductrices et nucléophiles comme les phosphines où acide comme l'acide phosphorique par exemple.

Pour souligner l'implication du phosphore en chimie organique, on propose d'étudier la synthèse de l'achatinidé (Figure 10) qui utilise des espèces phosphorées dans diverses étapes clés. L'achaetolide est une macrolactone issue de deux organismes *Achaetomium crisalliferum* et *Ophiobolus species*. Le principal enjeu de cette synthèse concerne la gestion des multiples centres asymétriques.



La synthèse est une synthèse convergente entre deux molécules intermédiaires **L** et **P**.

Q27. Expliquer le terme « synthèse convergente »

Dans un premier temps, on propose d'étudier la synthèse du composé **L** selon le schéma suivant de la figure 11.

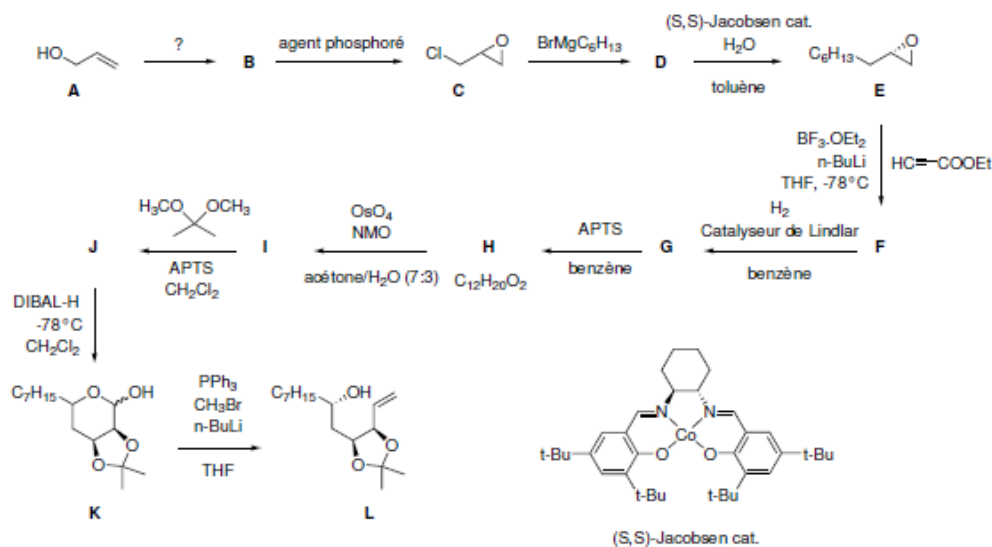


FIGURE 11 – Synthèse du composé intermédiaire **L**.

Q28. Proposer un réactif à base de phosphore pour former le composé **C** à partir du composé **B**.

Q29. Donner la structure du composé **D** ainsi que le mécanisme réactionnel justifiant son obtention à partir du composé **C**. Préciser la sélectivité de cette étape s'il y en a une. Représenter le ou les éventuels sous-produits obtenus.

Le composé **E** est obtenu de manière énantiopure à partir du composé **D** par résolution cinétique en milieu aqueux en présence d'un catalyseur chiral dit de Jacobsen.

Q30. Expliquer le terme de "résolution cinétique".

Q31. Le mécanisme d'obtention du composé **F** débute par un équilibre acido-basique entre le $n\text{-BuLi}$ et l'alcyne vrai, préciser l'intérêt de cette première étape ainsi que l'intérêt de l'utilisation de l'espèce $\text{BF}_3\cdot\text{OEt}_2$ dans cette réaction.

Q32. Donner les structures des lactones **J** puis **I**.

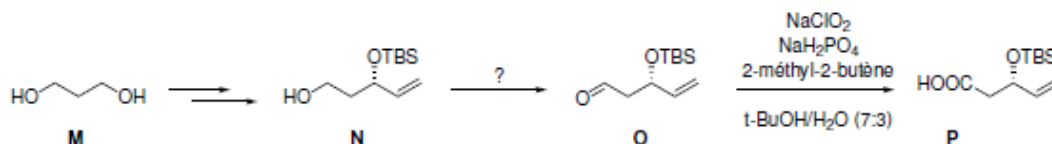
Q33. Lors de l'étape de formation du composé **L** à partir de **K**, il se forme un ylure de phosphore $\text{CH}_2=\text{CH-PPh}_3$; interpréter sa formation en précisant la nature des réactions et le rôle de la triphenylphosphine.

Les étapes de traitements lors de la synthèse du composé **L** sont données ci-dessous :

« After complete conversion, dichloromethane and water were added to the crude. The aqueous layer was extracted twice with dichloromethane. The combined organic layers were washed with diluted HCl, then water, and then brine (saturated aqueous solution of NaCl). Sodium sulfate was then added and the solution was filtered and dried Under vacuum. »

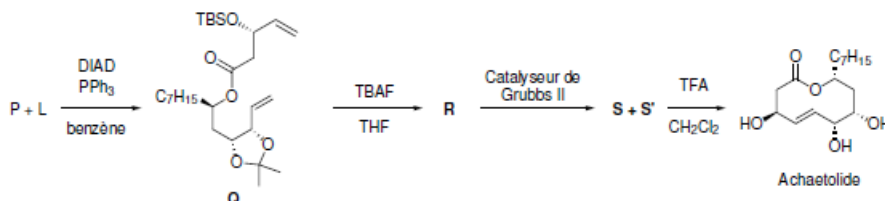
Q34. Indiquer le nom usuel de l'étape de lavage par une solution saturée de NaCl et son intérêt. Même question pour l'étape impliquant le sulfate de sodium.

Le composé intermédiaire **P** est synthétisé à partir du propan-1,3-diol **M** suivant le schéma suivant :

FIGURE 12 – Synthèse du composé intermédiaire **P**.

Q35. Proposer un réactif pour synthétiser le composé **O** à partir du composé **N**.

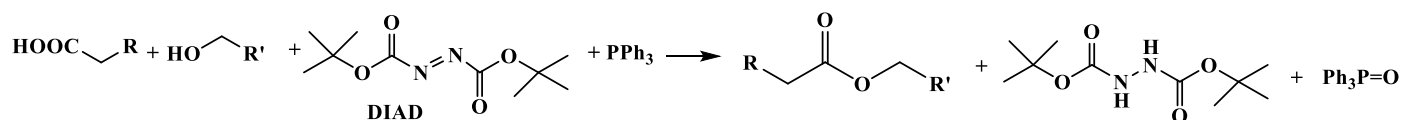
Pour finir, les composés **L** et **P** sont couplés pour obtenir en 4 étapes l'achaetolide enantiopure (Figure 13).

FIGURE 13 – Synthèse de l'achaetolide à partir des composés intermédiaires **P** et **L**.

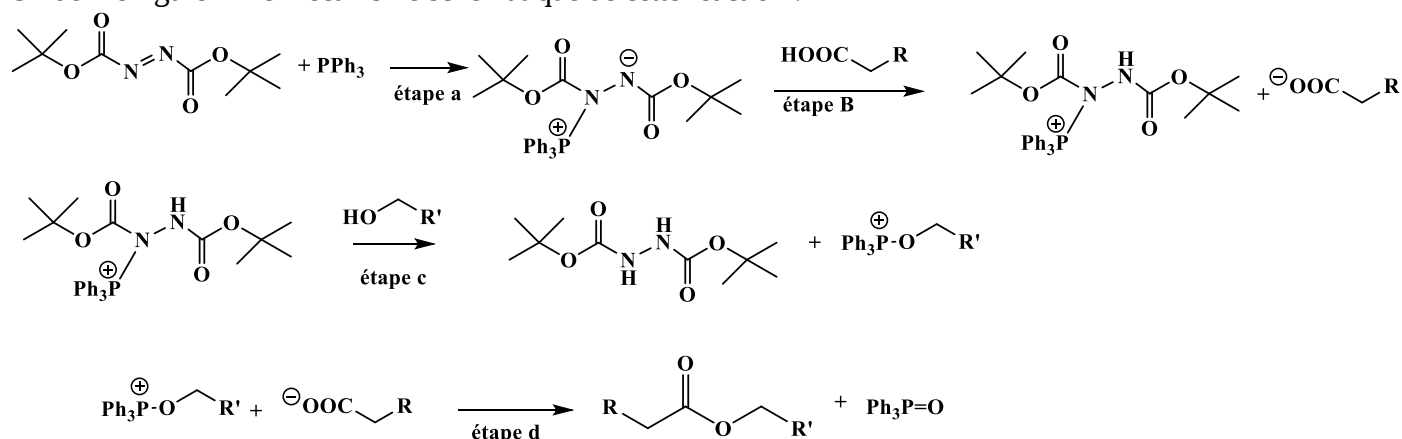
Le composé **Q** est synthétisé par réaction de Mitsunobu faisant intervenir une nouvelle fois de la triphénylphosphine.

Q36. Proposer une séquence alternative à la réaction de Mitsunobu pour obtenir le composé **Q**.

Le bilan général de la réaction Mitsunobu est donnée ci-dessous :



On donne figure 14 le mécanisme schématisé de cette réaction :



Q37. Indiquer (sans recopier les différentes réactions) la nature de chacune des étapes *a* à *d* du mécanisme de la réaction de Mitsunobu. Indiquer l'intérêt de cette séquence par rapport à l'alcool **L**.

.....FIN

Données :

Numéros atomiques: $Z(\text{O}) = 8$, $Z(\text{Cl}) = 17$ $Z(\text{P}) = 15$ $Z(\text{Pd}) = 46$

Masses molaires atomiques H : 1g mol^{-1} C : 12g mol^{-1} O : 16g mol^{-1}

Enthalpie standard de formation et entropies molaires standard (supposées indépendantes de la température)

$$\Delta_f H^0(\text{P(rouge), s}) = -17 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$S_m^0(\text{P(rouge)}, s) = 23 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}; S_m^0(\text{P}_4(\text{blanc}), s) = 41 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Données relatives à la paraffine (supposées indépendantes de la température)

- température de sublimation : $T_{\text{sub}} = 370^{\circ}\text{C} = 643 \text{ K}$;
- capacité thermique molaire pour la paraffine solide : $c_p = 880 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- enthalpie standard de sublimation : $\Delta_{\text{sub}}H^{\circ} = 500 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Constantes d'acidité (supposées indépendantes de la température)

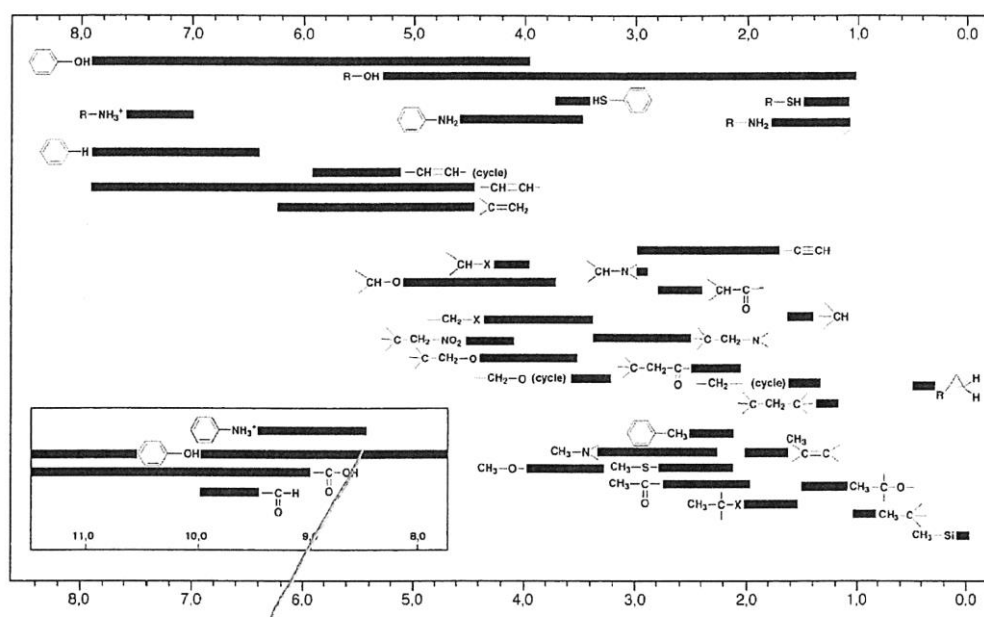
L'acide phosphorique est assimilé à un diacide fort.

Couple	$\text{H}_3\text{PO}_4(aq)/\text{H}_2\text{PO}_4^-(aq)$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-(aq)/\text{HPO}_4^{2-}(aq)$	$\text{HPO}_4^{2-}(aq)/\text{PO}_4^{3-}(aq)$	$\text{HClO}_2/\text{ClO}_2^-$
$\text{p}K_a$	2,1	7,2	12,3	2

Potentiels standard à **pH = 0**

Couple	$\text{Asc}(aq) / \text{AscH}_2(aq)$	$[(\text{MoO}_3)_{12}(\text{PO}_4)]^{3-}(aq) / [(\text{MoO}_3)_{12}(\text{PO}_4)]^{7-}(aq)$	$\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}_2(aq)$
$E^\circ(\text{V})$	0,1	0,5	0,7

Table de valeurs de déplacements chimiques en RMN ^1H :



Annexe

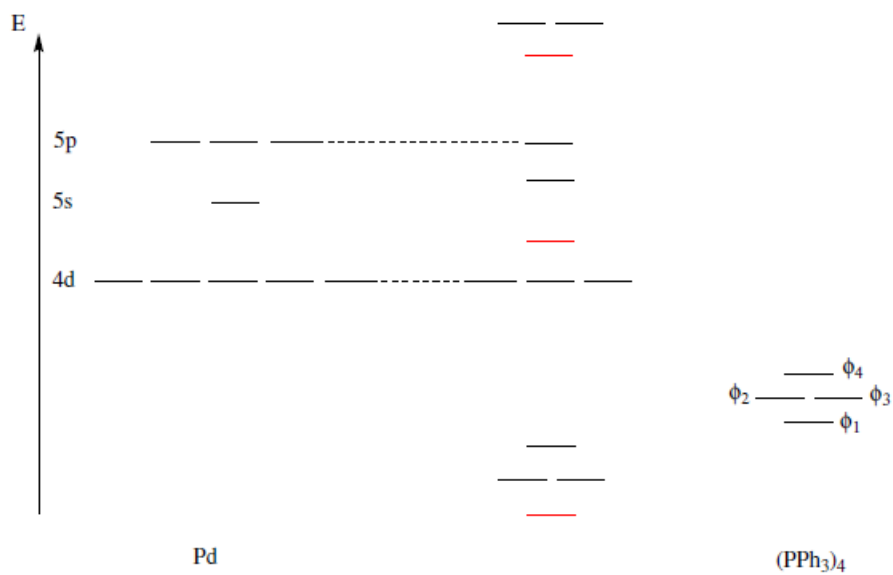


Diagramme d'orbitales moléculaires du complexe $[Pd(PPh_3)_4]$.

Les orbitales $OM1$, $OM8$, $OM11$ sont issues d'un recouvrement à trois orbitales.