

PC* 2023 / 2024

Bellevue

DS de Chimie n° 4 – 2 Février 2024

Eléments de correction

Première partie : Structure de deux complexes du vanadium

Mines -Ponts PC , 2023

Q1. Pour le vanadium , $Z=23$: $[18\text{Ar}]4s^2 3d^3$, on en déduit pour V^{2+} : $[18\text{Ar}] 3d^3$

Q2. Deux orbitales ne peuvent interagir que si leur recouvrement n'est pas nul . En se basant sur les représentations conventionnelles des orbitales , on parvient aux conclusions suivantes

Interaction possible entre Φ_2 et d_{z^2} , entre Φ_3 et $d_{x^2-y^2}$, Φ_1 et s .

Les orbitales d_{xy} , d_{yz} , d_{xz} ne donnent lieu à aucune interaction .

Ces conclusions sont indiquées dans le tableau suivant :

	d_{xy}	d_{xz}	d_{yz}	$d_{x^2-y^2}$	d_{z^2}	s
Φ_1						oui
Φ_2					oui	
Φ_3				oui		
Φ_4						
Φ_5						
Φ_6						

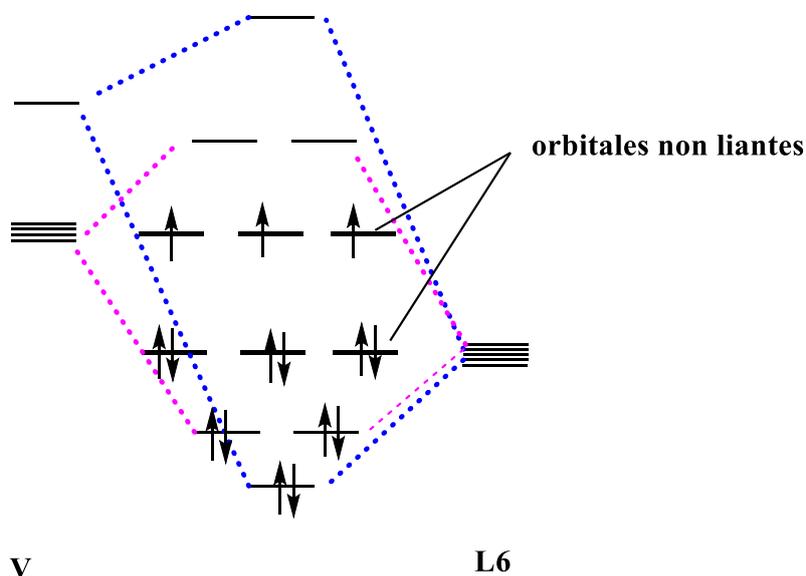
Q3. Chaque interaction conduit à 2 orbitales : une liante plus basse en énergie et une anti-liante , plus haute en énergie .

Compléter le diagramme énergétique consiste

1) à tracer les traits de corrélation entre les orbitales de fragment et les orbitales moléculaires du complexe .

2) à indiquer l'occupation des orbitales par les électrons .

Pour cela , il est nécessaire de dénombrer les électrons : $3 + 6 \cdot 2 = 15$.



Il existe pour les ligands une orbitale (Φ_2 ou Φ_3) pouvant interagir avec les orbitales d du vanadium et leur recouvrement est axial, ce qui justifie la **nature σ du ligand**.

Par ailleurs cette orbitale est occupée et est plus basse en énergie que les orbitales d du vanadium.

Les électrons initialement présents dans les orbitales de fragment des ligands sont transférés vers les orbitales moléculaires liantes du complexe, OM également développées sur le métal : il y a ainsi un transfert d'électrons du ligand vers le métal, ce qui justifie le caractère donneur.

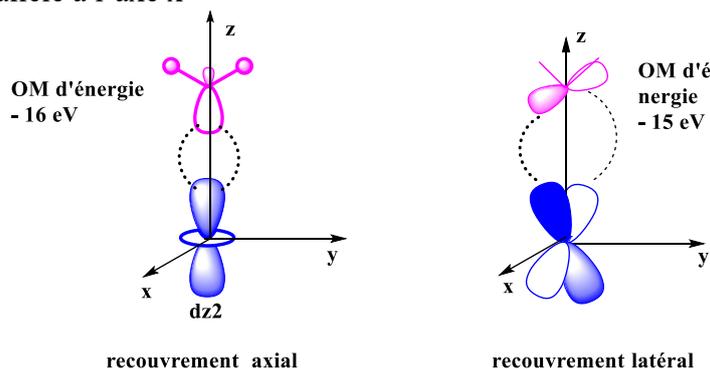
Q4. Les deux orbitales représentées pour l'eau sont non liantes et localisées sur l'oxygène.
(Plus précisément l'une est purement non liante ; pour l'autre le recouvrement dans la zone internucléaire entre H et O est très faible ce qui permet de l'assimiler à une non liante.)

Ces OM permettent de décrire deux doublets non liants sur l'atome d'oxygène ; **ces deux doublets ne sont pas équivalents** puisqu'ils n'ont pas la même énergie.

Par contre, dans le cadre du modèle de Lewis, si la structure de Lewis fait aussi apparaître deux doublets non liants, elle ne permet pas de les différencier, ils sont alors équivalents.

Q5. On peut schématiser l'approche de l'eau selon l'axe OZ par :

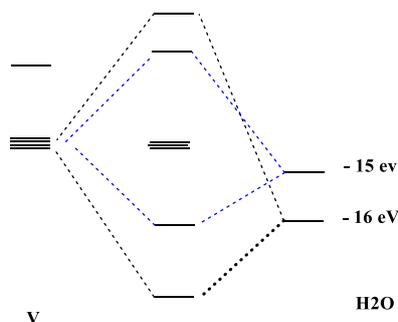
La molécule d'eau est située dans le plan yz , l'OM d'énergie -15 eV est « perpendiculaire » à ce plan, l'axe de révolution est parallèle à l'axe x



Il apparaît ainsi que les deux orbitales de l'eau peuvent interagir. L'OM d'énergie -16 eV est celle donnant lieu à un recouvrement axial et est à l'origine du caractère σ -donneur de l'eau.

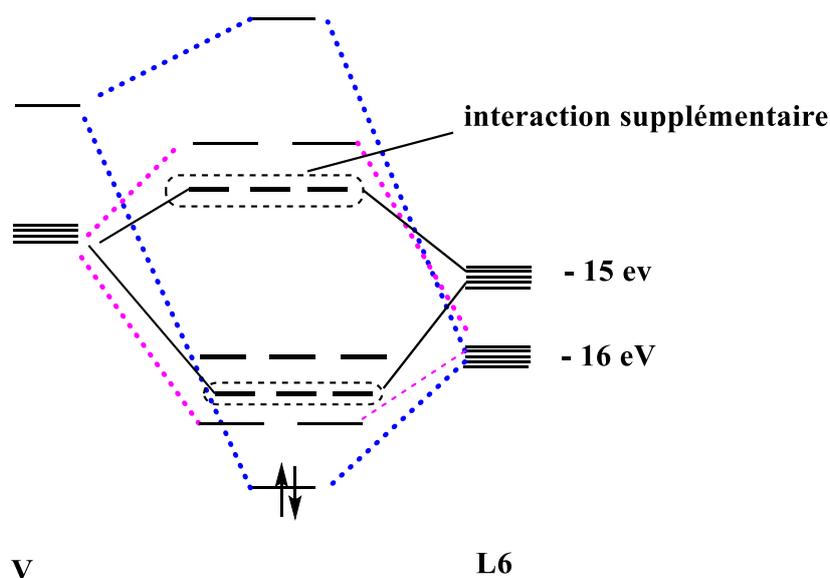
Son interaction est déjà prise en compte sur le diagramme d'interaction. Il faut rajouter l'interaction impliquant l'OM d'énergie -15 eV.

En ne considérant qu'une seule molécule d'eau selon M_z :



La nouvelle interaction illustre le caractère π -donneur de l'eau.

Si on considère le complexe avec les 6 molécules d'eau, en tenant compte du caractère π -donneur pour les 6 molécules d'eau, les orbitales d_{xy} , d_{yz} , d_{xz} ne seront plus non liantes



Deuxième partie : synthèse industrielle d'éthylène glycol
Agrégation -2023

Q6. Le bilan de matière appliqué à l'oxyde d'éthylène s'écrit

$$F_{EOe} + F_{EO\text{ produit}} = F_{EOs} \text{ soit } F_{EOe} - vV = F_{EOs}$$

par définition du taux de conversion $F_{EOs} = F_{EOe} (1 - X)$: $vV = F_{EOe} X$

D'après la loi de vitesse et en considérant une agitation parfaite : $v = k_{app} [EO]_s = k_{app} F_{EOs} / D_v$

Soit : $k_{app} F_{EOe} (1 - X) V / D_v = F_{EOe} X$

En introduisant le temps de passage $\tau = V / D_v$: $k_{app} (1 - X) \tau = X$ ou

$$X = \frac{k_{app} \tau}{1 + k_{app} \tau}$$

Q7. D'après la stoechiométrie de la réaction, $F_{EGs} = F_{EOe} X$

Or $F_{EOe} = C_{EOe} \frac{D_v}{2}$ soit $F_{EGs} = C_{EOe} \frac{D_v}{2} X$

A.N $M(EG) = 62 \text{ gmol}^{-1}$, $C_{EOe} = 16 \text{ molL}^{-1}$

$F_{EGs} = 300 \cdot 10^6 / 62 = 484 \cdot 10^4 \text{ mol/jour}$ ou 56 mol s^{-1}

$$D_v = 8,8 \text{ L s}^{-1}$$

A partir de l'expression établie à la question précédente, avec $X = 0,8$, on obtient $\tau = 800 \text{ s}$

En conclusion $V \simeq 7000 \text{ l}$ ou 7 m^3

Q8. L'expression de X en fonction du temps de passage est toujours vérifiée, la différence est que la constante de vitesse n'est plus « une constante » puisqu'elle dépend de la température.

$$X = \frac{k_{app}(T) \tau}{1 + k_{app}(T) \tau}$$

Q9. La relation demandée se déduit du bilan thermique .

L'application du 1^{er} premier principe au réacteur ouvert conduit à l'expression générale de la puissance thermique (quantité d'énergie thermique échangée avec l'extérieur par unité de temps)

$$q = \sum F_{is} h_{is} - \sum F_{ie} h_{ie} + \left(\frac{dU}{dt} \right)_t$$

On suppose que l'on se place en régime permanent (ou stationnaire) : $\left(\frac{dU}{dt} \right)_t = 0$

Par ailleurs , le réacteur fonctionne en marche adiabatique : $q = 0$

Compte tenu des approximations proposées dans l'énoncé , on retrouve l'expression du cours

$$\rho D_V C_{peau} (T_s - T_e) + F_{EOe} X \Delta_r H^\circ = 0$$

ρ : masse volumique du fluide assimilé à celle de l'eau

Finalemnt : $T_s = T_e - \frac{F_{EOe} \Delta_r H^\circ}{\rho D_V C_{peau}} X$ et $F_{EOe} = C_{EOe} D_V/2$ $T_s = T_e - \frac{C_{EOe} \Delta_r H^\circ}{2 \rho C_{peau}} X$

Expression et valeur de J : $J = - \frac{C_{EOe} \Delta_r H^\circ}{2 \rho C_{peau}}$ $J = \frac{\text{Mol L}^{-1} \text{ J mol}^{-1}}{\text{gL}^{-1} \text{ JK}^{-1} \text{g}^{-1}} = \frac{16 * 25000}{2 * 1000 * 4,18} = 48 \text{ K}$

Q10. Un point de fonctionnement est situé à l'intersection des courbes issues du bilan de matière et du bilan thermique .

Pour $T_e = 10^\circ \text{C}$, le point de fonctionnement se trouve dans la partie basse , il coorespond à un faible taux de conversion et n'est donc pas intéressant .

Pour $T_e = 30^\circ \text{C}$, il se trouve dans la partie haute : c'est une situation favorable d'autant plus qu'il s'agit d'un point de fonctionnement stable.

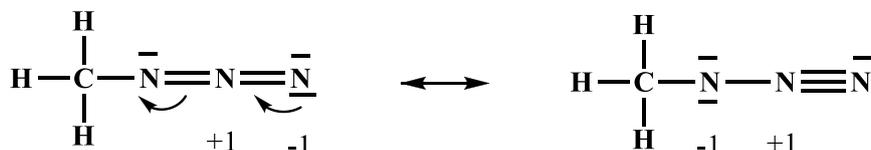
Troisième partie ; cycloaddition de Huisgen

Q11. La cycloaddition de Huisgen

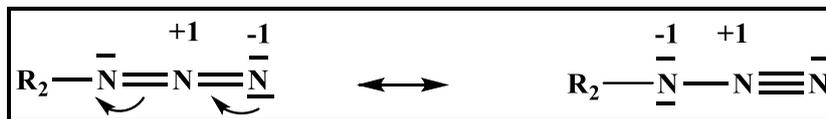
Pour l'azidométhane ($R = \text{CH}_3$) , à partir du nombre total d'électrons de valence , on détermine le nombre total de doublets : $D = \frac{4 + 3 * 1 + 3 * 5}{2} = 11$. La répartition de ces doublets de telle sorte que la règle de l'octet

soit satisfaite pour les atomes de carbone et d'azote conduit aux formes mésomères suivantes (les charges formelles sont indiquées au dessous des atomes d'azote) .

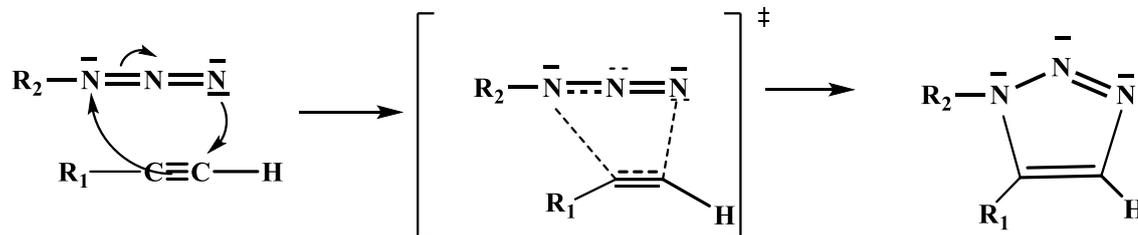
On retrouve bien un atome avec une charge positive et un atome avec une charge négative d'où le terme de dipolaire



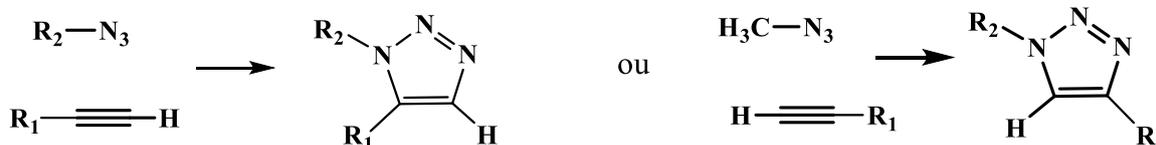
Généralisation : pour l'azoture d'alkyle $R_2\text{-N}_3$, on peut proposer les deux formes :



Q12. Le mécanisme d'une réaction de Diels Alder est concerté :



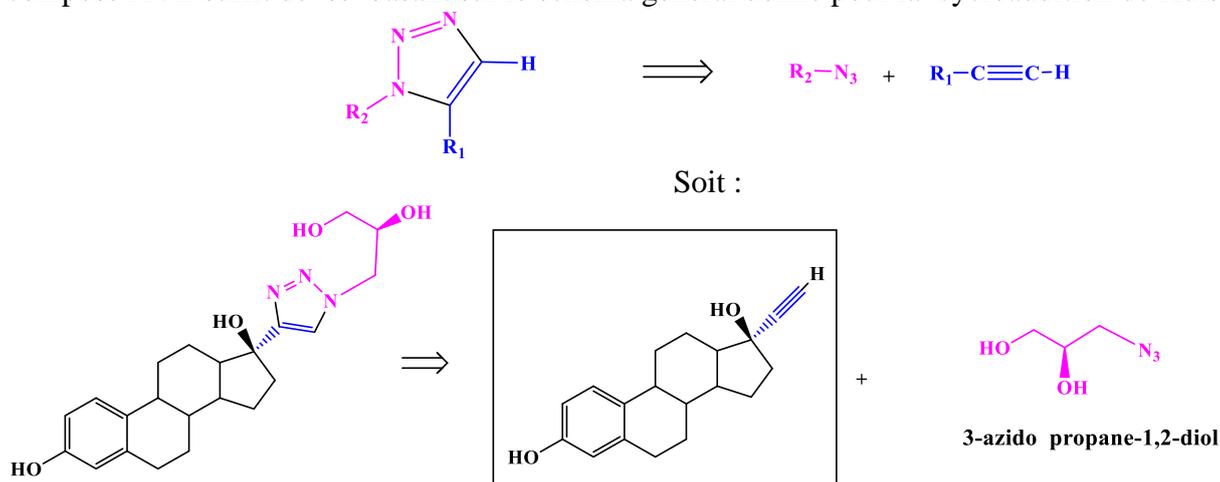
Q13. La réaction peut à priori conduire aux deux produits suivants :



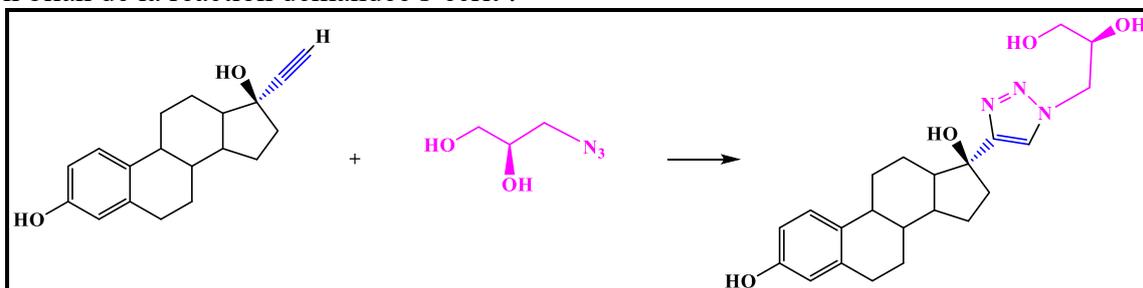
Les deux produits obtenus sont des isomères de constitution, plus précisément **des isomères de position ou régioisomères**. Se posera donc la question **régiosélectivité**.

L'apport de la catalyse par un complexe du cuivre

Q14. Cette question a pour but de déterminer la formule de l'alcyne terminal mis en jeu dans la synthèse du composé A : il suffit de se baser sur le schéma général donné pour la cycloaddition de Huisgen :



L'équation bilan de la réaction demandée s'écrit :

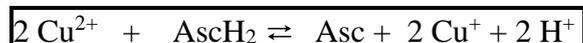


Le classement des substituants du carbone stéréogène de l'azoture s'écrit $\text{OH} > -\text{CH}_2\text{OH} > -\text{CH}_2\text{N}_3 > \text{H}$ et le sens de rotation pour passer du substituant prioritaire au suivant est le sens de rotation anti-horaire, ce qui justifie la configuration S.



Q15. La conversion de Cu (II) en Cu(I) est une réduction : on cherche dans le protocole expérimental un réducteur capable de s'oxyder. Il s'agit de **l'acide ascorbique**.Cf TP 6

Formellement :



Sa constante d'équilibre vérifie la relation, à 25°C : $0,06 \log K^\circ = 2 (E^\circ_{\text{AscH}_2} - E^\circ_{\text{Cu}})$

Soit AN : $K^\circ = 10^{[(0,17 - 0,13) / 0,03]}$

$$\underline{\underline{K^\circ = 22}}$$

Cette réaction n'est pas thermodynamiquement favorisée. **Cependant l'acide ascorbique est introduit en large excès**, ce qui permet de déplacer la réaction dans le sens direct et ainsi de rendre la formation de Cu (I) quantitative.

Q16. La CCM est une méthode analytique basée sur la **différence d'affinité des espèces chimiques vis-à-vis de 2 phases** : une **phase stationnaire** (silice) et une **phase mobile** (éluant).

Elle procède en trois phases principales :

1. **dépôt** des échantillons
2. **Elution** et repérage de la ligne de front de l'éluant
3. **Révélation**

Une espèce est caractérisée par son **rapport frontal** R_f .

Ici, on réalise sur la plaque de silice un dépôt d'une solution de chacun des deux réactifs et un dépôt du brut réactionnel.

Après élution, on ne doit pas retrouver les taches obtenues à partir des deux premiers spots dans le troisième.

Q17. Le précipité est placé dans un **entonnoir Büchner**. A l'aide d'une pipette Pasteur, on verse de l'eau **refroidie** sur le précipité, le vide étant coupé.

Et enfin, on remet le vide : l'eau contenant les impuretés est ainsi éliminée.

Q18. Le rendement s'exprime selon

$$rdt = 100 \frac{\text{masse de } A \text{ obtenue}}{\text{masse de } A \text{ que l'on obtiendrait si la réaction était totale}}$$

$$rdt = 100 \frac{\text{masse de } A \text{ obtenue}}{3 \cdot 10^{-3} * M(A)} = 100 \frac{1,17}{3 \cdot 10^{-3} M(A)}$$

Or A est un produit d'addition : $M(A) = M(\text{réactif 1}) + M(\text{réactif 2})$

Alors $3 \cdot 10^{-3} M(A) = 3 \cdot 10^{-3} (M(\text{réactif 1}) + M(\text{réactif 2})) = m(\text{réactif 1}) + m(\text{réactif 2})$

Soit $Rdt = 100 * 1,17 / (0,888 + 352)$ **Rdt = 94 %**

.....on évite ainsi le calcul de la masse molaire de A , on trouve $M(A) = 413 \text{ g mol}^{-1}$ et $m_{\max}(A) = 1,24 \text{ g}$

Cette valeur du rendement permet de dire que le régiosomère A est majoritairement obtenu : la réaction est **régiosélective**.

Q19. A ce niveau on ne dispose pas de la formule précise du catalyseur ... en supposant la réaction de formation du Cu (I) quantitative , on forme 0,03 mmol de catalyseur .

On utilise alors 0,03 mmole de catalyseur pour 3 mmole de réactif : un rapport 100 entre les deux

Charge catalytique : 1 mol

Pour pouvoir calculer le turnover , il faut supposer que la réaction entre le catalyseur et un réactif se fait mole à mole , alors la quantité de réactif étant 100 fois plus grande que celle du catalyseur , on réalise 100 cycles .

Turnover = 100

Enfin , il est précisé que la durée est de 15 heures :

Turnover frequency = 100/15 = 6,7 cycles par heure.

Q20 . La complexation s'accompagne de la perte de l'hydrogène terminal . Autrement dit , la transformation $RC\equiv CH \rightarrow RC\equiv C^{\ominus} + H^{\oplus}$ peut être considérée comme totale , ce qui correspond à une acidité forte .

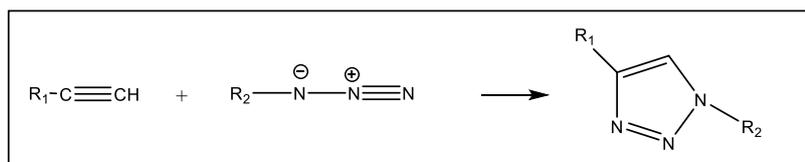
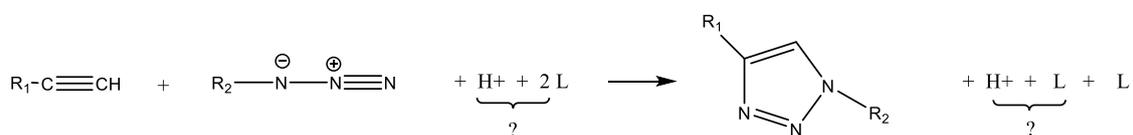
En conclusion , la complexation a pour effet d'augmenter l'acidité de l'alcyne

Q21. Le point d'interrogation de la première étape correspond précisément au H^+ perdu par l'alcyne , on a aussi la dissociation d'un ligand L

Pour la dernière étape , la comparaison des formules permet de retrouver le H^+ qui se fixe sur le cycle azoté , et à ce niveau il faut aussi ajouter 2 entités de ligand .

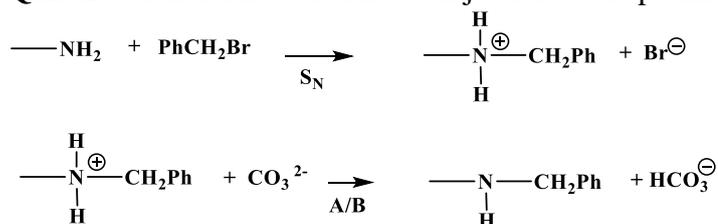
? : H^+ , L (1 ou 2 entités)

L'équation bilan se déduit du bilan des espèces entrantes et sortantes :



Catalyseur : CuL_n^{2+}

Q22. Les transformations mises en jeu lors de la première étape peuvent être schématisées selon :



Ainsi la stoechiométrie doit être 2 PhCH₂Br / 1 -NH₂ soit au final **6 PhCH₂Br / 1 tren**

L'ion hydrogénocarbonate a aussi des propriétés basiques et peut donc être utilisé pour réaliser la neutralisation des ammoniums :



Q23. Conformément à ce qui précède, reste à s'interroger sur le mécanisme de la substitution nucléophile. Les deux réponses S_N1 et S_N2 sont acceptées à condition qu'elles soient justifiées.

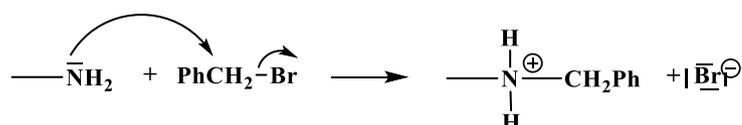
Le carbocation benzylique PhCH₂⁺ est stabilisé par hyperconjugaison, ce qui permet de justifier le mécanisme S_N1.

La nucléophilie du groupe amino est suffisante pour envisager S_N2.

Remarque : L'argument qui peut permettre de choisir entre les deux est le solvant ... mais il n'est pas explicitement au programme.

L'acétonitrile CH₃CN est un solvant polaire aprotique : il favorise un mécanisme S_N2

Mécanisme S_N2 :



Puis réaction acide base.

Q24. Le ligand HBT compte 4 sites nucléophiles azotés : c'est un ligand **tétradentate**. On peut ajouter que ce ligand est **chélatant**.

La géométrie d'un complexe se déduit de son indice de coordination : pour le complexe Cu-HBT, il est égal à 4.

2 géométries sont envisageables : géométrie plan carré et géométrie tétraédrique.

La figure 11 est plutôt en faveur de la géométrie tétraédrique.

Q25. Le cuivre au degré d'oxydation + I admet **10 électrons de valence**.

On en déduit pour le complexe NEV = 10 + 4 * 2 = 18, d'où sa très grande stabilité.

La stabilité est aussi due à **l'effet chélatant** (cf exercice corrigés TD7)

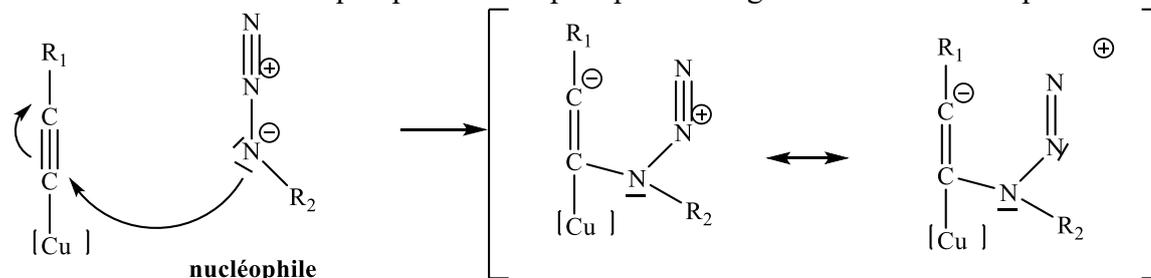
Q26. On retrouve dans le cycle les propriétés nucléophiles (étape 6 → 1, nouvelle liaison Cu ---N) et basiques (2 → 3) pour les amines.

Q27. Dans le complexe 2, la coordination de l'alcyne est à comparer à celle des ligands de type éthyléniques.

Les interactions à l'origine de cette coordination impliquent alors des orbitales π de l'alcyne et on observe des liaisons entre le cuivre et les 2 atomes de carbone

Dans le complexe 3, suite à la perte du H à caractère acide, on peut considérer une coordination entre l'ion alcynure $\text{RC}\equiv\text{C}^-$ et le cuivre, il existe alors une différence entre les deux atomes de carbone, la recherche du recouvrement maximal conduit à une fixation préférentielle sur un carbone avec un recouvrement axial analogue à celui observé pour un ligand σ -donneur classique.

Q28. Lors de l'étape 3 \rightarrow 4, on observe la fixation d'un nucléophile sur l'alcyne alors qu'un alcyne isolé est riche en électrons et qu'à priori on ne peut pas envisager d'addition nucléophile sur un alcyne.



Ainsi, la coordination modifie sa réactivité : ce comportement particulier est à comparer au comportement particulier analogue des ligands éthyléniques : cf cours.

Ce comportement particulier a été interprété par un **phénomène de retro-donation important** qui contribue à peupler une antiliante.

A noter que le phénomène de donation affaiblit aussi la triple liaison.

Q29. Pour le complexe 1 $\text{do}(\text{Cu}) = +\text{I}$ $\text{NEV} = 18$

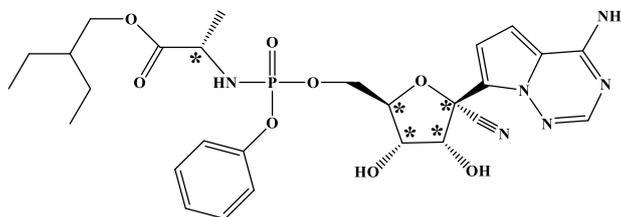
Pour le complexe 6 : $\text{do}(\text{Cu}) = +\text{III}$ $\text{NEV} = 20$

Compte tenu de la diminution du do , on peut décrire l'étape 6 \rightarrow 1 comme une **élimination réductrice**.

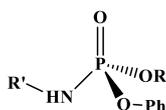
La stabilité du complexe 1 permet une régénération facile et donc est favorable au cycle.

Quatrième partie :

Q32. Les atomes de carbone asymétriques ont 4 substituants différents : on en compte 5 sur la formule du remdesivir, repérés par un astérisque sur la représentation ci-dessous.



Q33. Au phosphore on peut associer une structure VSEPR AX₄, d'où une géométrie tétraédrique.



Q34. Un centre stéréogène est un site pouvant être à l'origine de stéréoisomères de configuration. Deux stéréoisomères de configuration ont une énergie différente, l'écart d'énergie étant de l'ordre de grandeur de celle d'une énergie de liaison. Ainsi la rupture de liaison est l'argument usuellement cité pour décrire l'interconversion entre les deux stéréoisomères.

La double liaison P=O empêche la libre rotation, d'où l'impossibilité de passer d'un stéréoisomère à l'autre sans rompre une liaison : le phosphore peut effectivement être à l'origine de stéréoisomères.

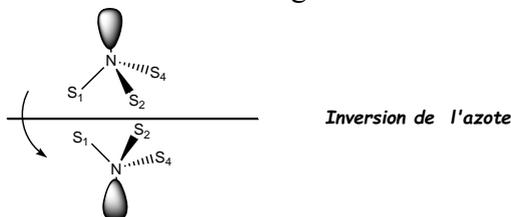
En conclusion, on compte 6 centres stéréogènes soit $2^6 = 64$ stéréoisomères au total et

Le remdesivir a 63 stéréoisomères de configuration

Remarque : un centre stéréogène n'est pas nécessairement lié à 4 substituants.....

Exemple ① : une double liaison C=C dissymétrique est un centre stéréogène : la libre rotation empêchée est à l'origine des diastéréoisomères Z et E

Exemple ② : Un azote – qui n'a que 3 substituants peut être un centre stéréogène. Usuellement on n'observe pas d'activité optique pour une amine car le phénomène d'inversion se produit à température ambiante : on a un mélange racémique. Cependant si un des substituants est très volumineux, l'inversion est empêchée et l'amine devient chirale, l'azote est alors un centre stéréogène.



1.3. Analyse rétrosynthétique

Q35. Justifier la nucléophilie d'une espèce suppose de montrer que cette espèce dispose d'au moins un doublet non liant pouvant être utilisé pour créer une liaison.

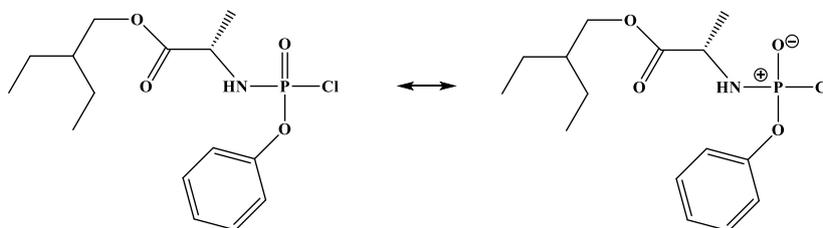
De même justifier qu'une espèce est un électrophile suppose de montrer que cette espèce est capable de fixer un doublet pour créer une liaison.

Indiquer des charges partielles δ^+ et δ^- ne suffit pas ;

Enfin, pour ce type de question, il faut s'efforcer d'utiliser un vocabulaire précis, rigoureux : effets inductifs -I, effets mésomères attracteurs – M, polarisation des liaisons, etc ...

Pour la déconnexion D₁,

- l'oxygène du groupe hydroxyle du synthon **B** porte un doublet non liant à partir duquel on peut former la nouvelle liaison : le synthon **B** est une espèce nucléophile.
- L'effet mésomère – M de l'oxygène permet d'écrire une deuxième forme mésomère :

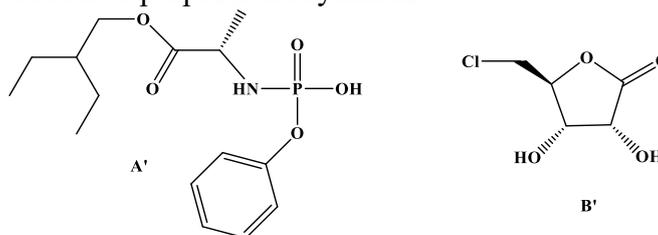


Cette possibilité de mésomérie met bien en lumière le caractère électrophile du phosphore, c'est-à-dire que l'on peut bien envisager de fixer sur P un doublet.

Par ailleurs on peut ajouter que les effets -I de O et N renforcent ce caractère électrophile.

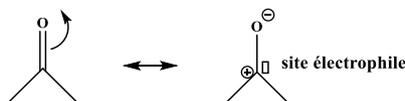
Le synthon A intervient alors en tant qu'électrophile ; le site électrophile est l'atome de phosphore.

Q36. L'inversion de polarité conduit à proposer les synthons :



Pour le synthon A', le site nucléophile serait l'oxygène du groupe HO, compte tenu de la délocalisation possible du doublet non liant par mésomérie, sa nucléophilie serait moindre que celle du synthon B. L'encombrement stérique de A' réduisant également la nucléophilie peut être évoquée.

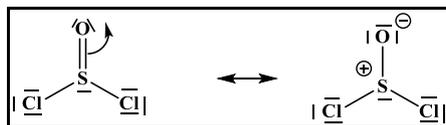
Q37. La polarisation de la liaison C – Mg selon $\delta^- \quad \delta^+$
 $\text{C} \text{---} \text{Mg}$ est à l'origine des propriétés nucléophiles du synthon **C**. L'effet – M de l'oxygène confère au carbone du groupe carbonyle du synthon **B** un caractère électrophile.



Synthèse de la partie phosphorée.

Q38. 2-éthylbutan-1-ol

Q39. Pour le chlorure de thionyle, on compte $6+6+2*7 = 28$ électrons de valence, soit 14 doublets à répartir de façon à satisfaire au mieux les règles de stabilité.



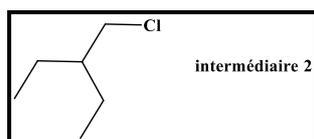
L'effet -M de O, les effets -I de O et des deux Cl contribuent à diminuer fortement la densité électronique autour du soufre et permettent la création d'une liaison à son niveau, ce qui lui confère des propriétés électrophiles.

Q40. La réaction acide-base entre la pyridine et un alcool a une constante d'équilibre qui s'exprime selon

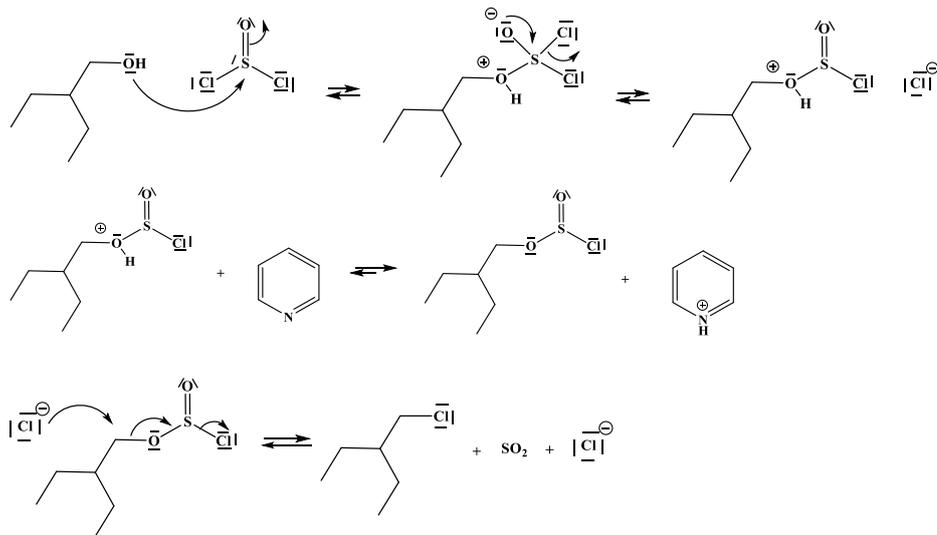
$$K^{\circ} = K_a (\text{Pyridine}) / K_a (\text{Alcool}), \text{ soit } K^{\circ} = 10^{5,21-16} = 10^{-10,79}$$

Cette réaction n'est pas thermodynamiquement favorisée.

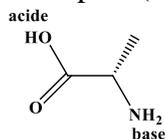
Q41. Le chlorure de thionyle est un agent chlorurant qui permet la transformation de l'alcool en dérivé chloré.



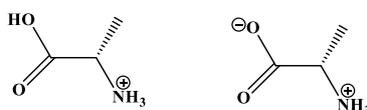
Mécanisme de formation : suite aux questions précédentes, on envisage une addition nucléophile de l'alcool sur le soufre



Q42. Usuellement : $pK_a (\text{RCOOH} / \text{RCOO}^-) = 5$ et $pK_a (-\text{NH}_3^+ / -\text{NH}_2) = 9-10$



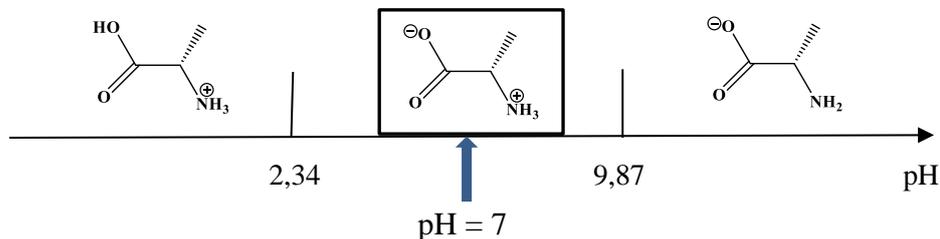
On observe une différence notable pour le couple $\text{RCOOH} / \text{RCOO}^-$. Plus précisément les espèces à considérer sont



L'effet -I du groupe $-\text{NH}_3^+$ a pour effet de polariser davantage la liaison O-H, la stabilisation de la base conjuguée -l'anion carboxylate- peut être mentionnée mais ce n'est pas le facteur prédominant.....

D'où un caractère acide plus fort que celui des acides carboxyliques en accord avec la valeur plus faible du pKa.

Q43. On peut dresser le diagramme de prédominance des espèces suivant :



Il apparaît qu'à pH = 7, le seul site nucléophile de l'alanine est l'oxygène.

Le composé **3** résulte d'une réaction de substitution nucléophile sur l'intermédiaire **2**, dérivé chloré.

Q44. D6 signifie que les 6 atomes d'hydrogène ont été remplacés par l'isotope deutérium



Q45. La justification de l'attribution des signaux repose sur les trois informations : intégration, déplacement chimique et multiplicité.

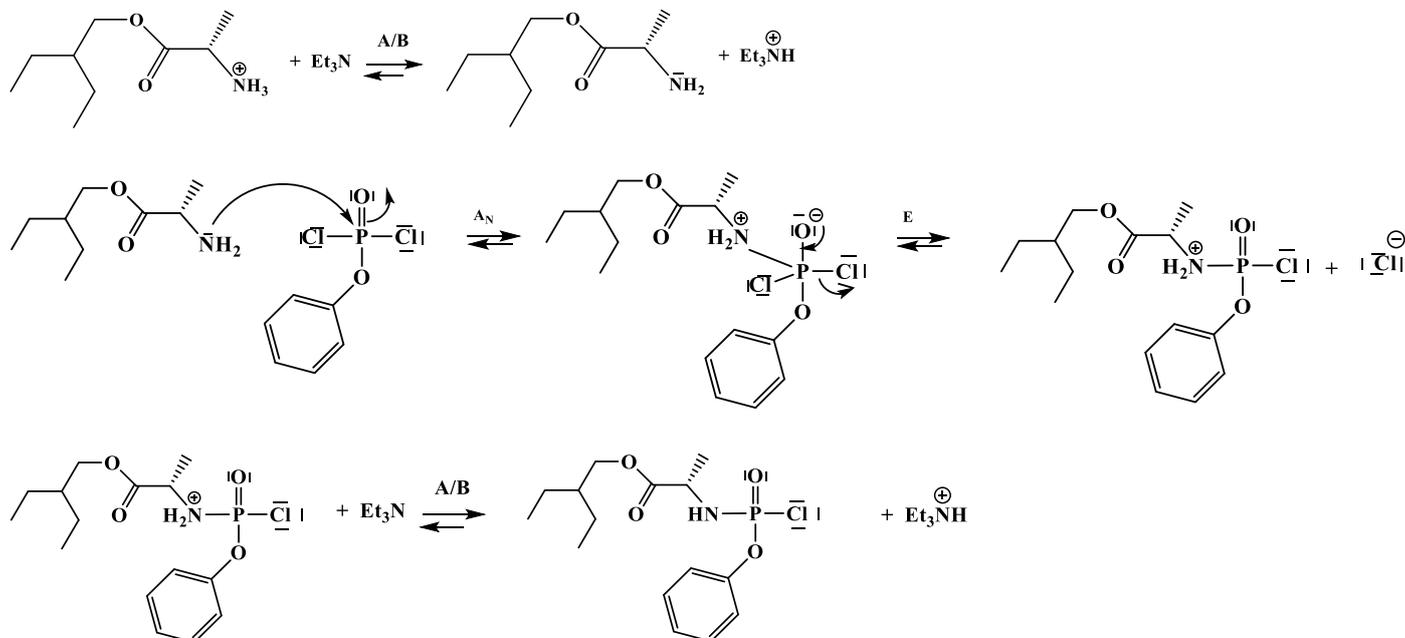
► Avoir le souci de la lisibilité pour ce type de réponse, ne pas hésiter à introduire une numérotation pour les groupes de protons magnétiquement équivalents.

	δ (ppm)	Intégration	Multiplicité	Attribution
	8,59	3H	s	Fort déblindage H_a
	1,53	1H	Heptuplet	H_c Même constante de couplage avec 6 H
	1,44	3H	d	H_e*
	0,88	6H	t	H_a Couplage avec 2 H_b

* il n'y a pas en général de couplage au travers des hétéroatomes

Q46. La réactivité des chlorure d'acyle inscrite au programme se limite essentiellement aux réactions avec des espèces nucléophiles avec un mécanisme AN/ E. Aussi l'analogie suggérée suppose d'avoir une espèce nucléophile et l'analyse de la formule du produit **5** montre la nécessité d'un nucléophile azoté ...

Par conséquent, la première étape du mécanisme proposé est une réaction acide base permettant de générer le groupe amino nucléophile



La triéthylamine intervient en tant que BASE et conformément au mécanisme ci-dessus il en faut 2 équivalents.