

2C9140

École Normale Supérieure Paris-Saclay

SECOND CONCOURS –ADMISSION EN CYCLE MASTER CHIMIE

Session 2019

Épreuve de CHIMIE GENERALE

Durée : 4 heures

Aucun document n'est autorisé.

L'usage de toute forme de calculatrice est interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.

L'ammoniac : de la structure aux applications en synthèse

L'ammoniac, de formule NH_3 , est un gaz toxique aux températures et pressions usuelles. Sa synthèse demeure un enjeu industriel majeur dans notre société puisqu'il est utilisé, sous forme d'ammonium, dans la plupart des engrais. Le modèle de culture intensive, adopté pour nourrir une population mondiale croissante, engendre une demande en engrais, et donc en ammoniac, en constante augmentation. Pour répondre à cette demande, les chercheurs doivent mettre au point de nouvelles stratégies de synthèse de cette molécule. **Ce sujet se divise en trois parties indépendantes autour de la molécule d'ammoniac.** La première partie traite de la structure de la molécule et de ses orbitales moléculaires, une seconde partie propose l'étude de nouveaux procédés pour la synthèse de l'ammoniac puis, la troisième partie s'intéresse à une utilisation de l'ammoniac en synthèse organique.

Les annexes, placées à la fin du sujet, regroupent un ensemble de données numériques et de documents utiles à la réponse aux questions.

Partie A. Structure et propriétés de la molécule d'ammoniac

Généralités

1. Représenter la structure de Lewis de la molécule d'ammoniac.
2. Indiquer la géométrie de la molécule. Justifier.
3. Indiquer la polarité des liaisons NH et conclure quant à la polarité de la molécule d'ammoniac.

Lorsqu'on s'intéresse à l'évolution des températures de changement d'état pour des composés hydrogénés d'une même colonne de la classification périodique (ici, les colonnes 15 et 16), on obtient les courbes présentées sur la figure 1.

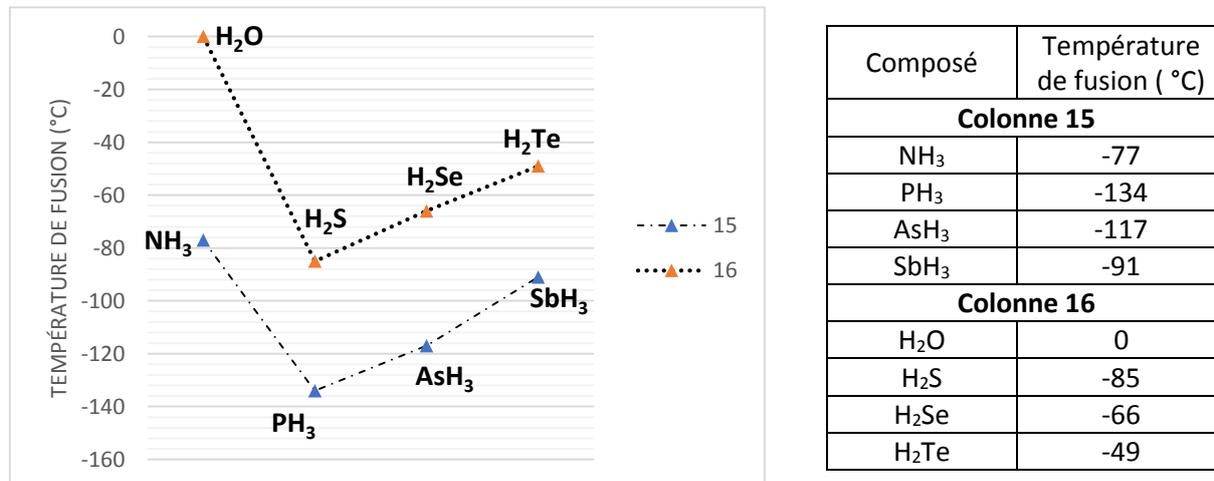


Figure 1 : Courbes des températures de fusion pour les composés hydrogénés des colonnes 15 et 16.

4. Commenter les courbes présentées et interpréter dans le détail les tendances observées ainsi que les éventuels comportements particuliers.

Diagramme d'orbitales moléculaires de l'ammoniac

Les surfaces d'isodensité des orbitales moléculaires de la molécule d'ammoniac sont représentées dans le tableau 1. On se propose de retrouver ces orbitales moléculaires à l'aide de la théorie des groupes. Pour cela, nous allons considérer, dans un premier temps, la base Γ_7 constituée des trois orbitales 1s de chaque atome d'hydrogène, et des orbitales 2s, 2p_x, 2p_y et 2p_z de l'atome d'azote. Le système d'axes à adopter pour répondre aux questions suivantes est présenté dans le tableau 2.

5. Déterminer le groupe de symétrie auquel appartient la molécule d'ammoniac. Justifier.
6. En détaillant votre méthode, montrer que la base Γ_7 peut se décomposer en bases de représentations irréductibles avec $\Gamma_7 = 3A_1 \oplus 2E$.

Orbitale	Vue 1	Vue 2
OM A		
OM B		
OM C		
OM D		
OM E		
OM F		
OM G		

Tableau 1 : Surfaces d'isodensité des orbitales de l'ammoniac selon 2 vues différentes (Source : Orbimol). L'ordre des orbitales dans le tableau n'est pas représentatif d'un ordre énergétique.

Pour simplifier cette étude, il est possible de raisonner par fragments et de les assembler par la suite plutôt que de traiter la molécule dans son ensemble. Les deux fragments à prendre en compte sont l'atome d'azote et le système H₃ triangulaire. Considérons la base des orbitales atomiques de l'azote d'une part et la base des orbitales atomiques des atomes d'hydrogène d'autre part. La décomposition de ces deux bases en bases de représentations irréductibles est alors :

$$\Gamma_N = 2A_1 \oplus E \quad \text{et} \quad \Gamma_{H_3} = A_1 \oplus E.$$

Les orbitales de fragments (OF) des fragments N et H₃ triangulaire ont été calculées ; les surfaces d'isodensité sont présentées dans le tableau 2.

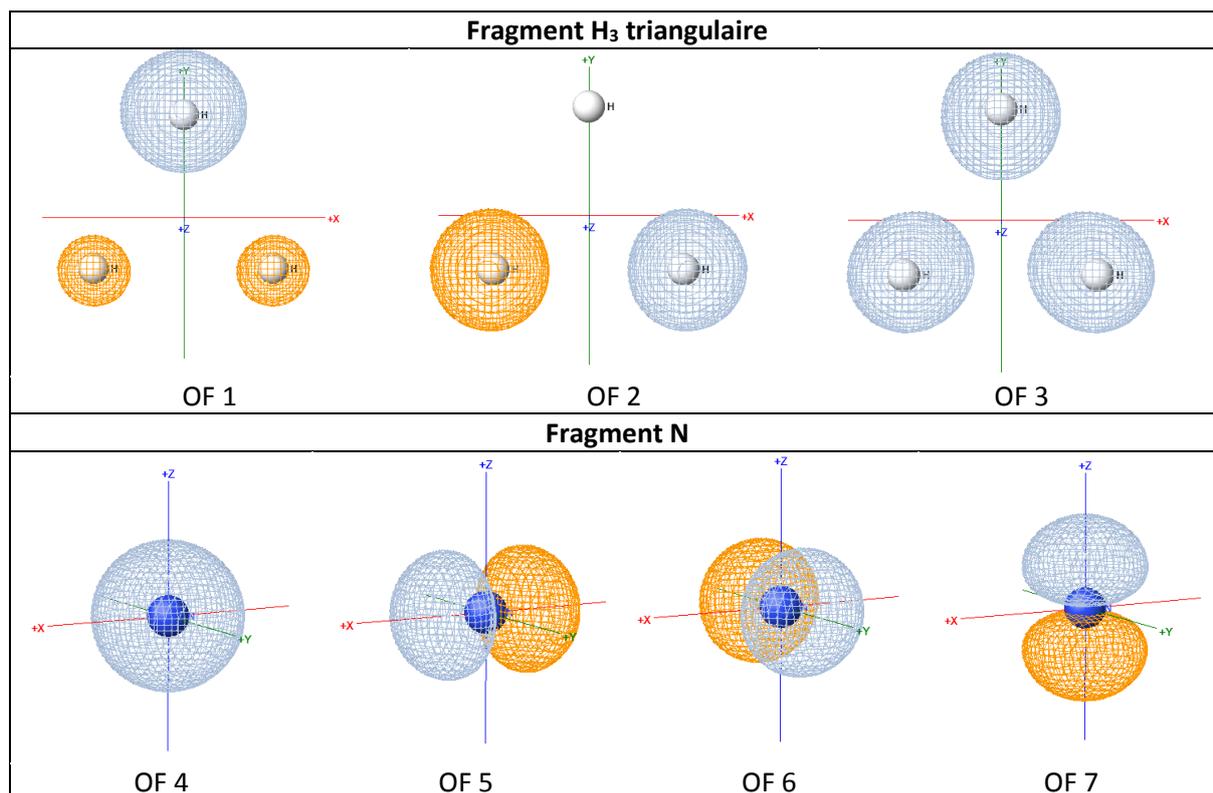


Tableau 2 : Surfaces d'isodensité des orbitales de fragment (OF) des fragments H₃ triangulaire et N (Source : Orbimol).

- Attribuer les étiquettes de symétrie des orbitales du fragment N. Justifier.
- En utilisant la méthode de votre choix, et en explicitant clairement cette dernière, retrouver les orbitales de symétrie du fragment H₃ triangulaire et leur attribuer des étiquettes de symétrie.
- Au sein de chaque fragment, classer les orbitales de fragment par ordre d'énergie croissante en justifiant votre raisonnement.
- En utilisant le diagramme pré-complété fourni (document à rendre avec la copie), construire le diagramme d'orbitales moléculaires de la molécule d'ammoniac. Identifier à quelles orbitales (OM A à G) de la molécule d'ammoniac du tableau 1 correspondent les orbitales moléculaires (OM 1 à 7) du diagramme pré-complété. Placer toutes les orbitales de fragment et toutes les orbitales moléculaires. Indiquer, pour chaque orbitale moléculaire, l'étiquette de symétrie correspondante.
- Procéder au remplissage électronique du diagramme et confronter la théorie des orbitales moléculaires à la représentation de Lewis.

Partie B. La synthèse de l'ammoniac

Présentation générale de l'électrosynthèse

Le procédé industriel de synthèse de l'ammoniac est le procédé Haber-Bosch. Celui-ci permet de synthétiser l'ammoniac à partir de diazote et de dihydrogène. Ce procédé est très coûteux en énergie et est responsable d'environ 1 % de la production annuelle planétaire de dioxyde de carbone. L'enjeu des chercheurs et des industriels pour mettre au point de nouveaux modes de synthèse de l'ammoniac, à la fois moins onéreux et plus respectueux de l'environnement, est donc de taille. Ces dernières années, de nombreuses équipes de recherche se sont tournées vers la mise au point de synthèses par voie électrochimique. L'enjeu est d'arriver à profiter d'une énergie propre, comme l'énergie solaire ou éolienne, pour faire fonctionner un électrolyseur qui transforme l'air et l'eau en ammoniac et en dioxygène. De récents travaux de recherche ont permis de mettre au point un électrolyseur fonctionnant sur ce principe. Un schéma simplifié du dispositif est reproduit sur la figure 2.

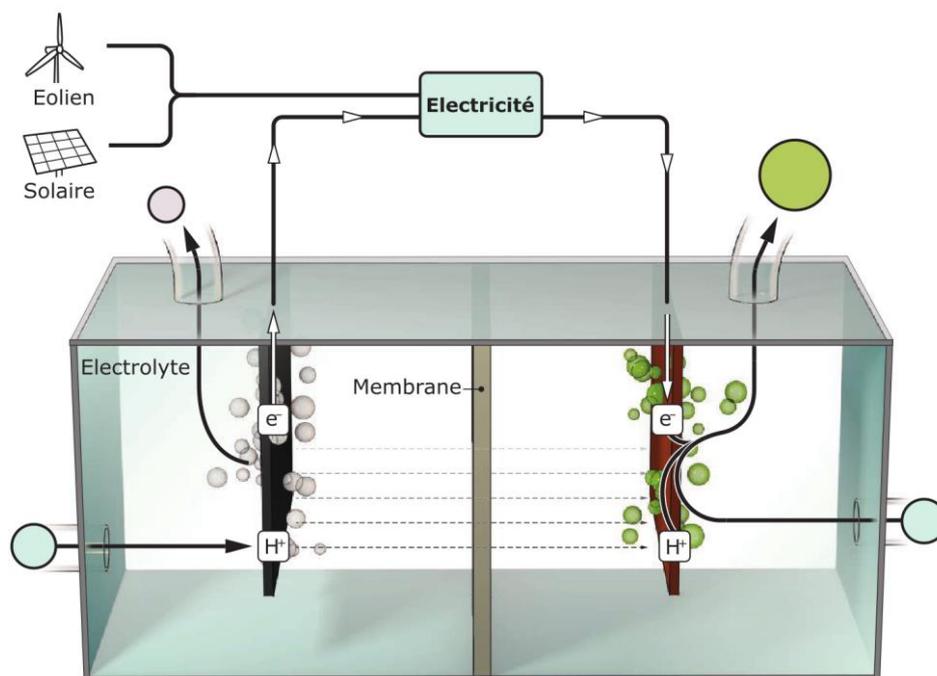


Figure 2 : Schéma de l'électrolyseur mis au point pour synthétiser l'ammoniac par voie électrochimique.

12. Écrire l'équation de la synthèse de l'ammoniac dans le cas du procédé Haber-Bosch.
13. Écrire la demi-équation d'oxydoréduction correspondant à la formation de NH_3 à partir de N_2 . Qualifier cette équation de réduction ou d'oxydation. Justifier.
14. Écrire la demi-équation pour le couple de l'eau. Qualifier cette équation de réduction ou d'oxydation.
15. Écrire l'équation de la réaction globale ayant lieu dans un électrolyseur comme celui qui est présenté à la figure 2.
16. Exprimer l'enthalpie libre standard de cette réaction en fonction des potentiels standards des couples impliqués. Commenter.
17. Représenter un schéma simplifié de l'électrolyseur en plaçant les espèces entrantes et sortantes du système. Placer la cathode, l'anode, et définir la polarité du système.
18. Indiquer la différence de potentiel qu'il faut théoriquement appliquer au système pour que la réaction se produise.

Expérimentalement, on constate que pour observer une électrolyse, il faut appliquer une différence de potentiel plus grande que celle qui est issue de la théorie.

19. Interpréter cette observation expérimentale en représentant schématiquement les courbes intensité-potentiel des couples mis en jeu.

Étude d'un procédé d'électrosynthèse et son optimisation

Le coût de l'électrosynthèse de l'ammoniac n'est pas encore compétitif avec celui du procédé Haber-Bosch, mais de nombreuses équipes à travers le monde travaillent à mettre au point les meilleurs catalyseurs pour faire en sorte d'améliorer le rendement énergétique de cette méthode.

Très récemment, une équipe de recherche chinoise a mis au point un catalyseur de carbure de molybdène (Mo_2C) pour l'électrosynthèse de l'ammoniac. Les résultats de cette équipe sont présentés dans un article qui regroupe un ensemble d'expériences, à la fois pour démontrer que le système permet bien la synthèse de l'ammoniac mais également pour en optimiser les conditions opératoires. Une sélection de ces expériences est présentée dans la suite de ce sujet.

L'ordre de présentation des expériences est arbitraire et il est nécessaire d'en recouper les interprétations entre elles pour construire un raisonnement complet. L'analyse des documents suivants permet de répondre aux questions 19 à 21.

Début des documents

Descriptif général des expériences

Sauf indication contraire, les expériences suivantes sont réalisées à l'aide d'un montage à trois électrodes, en prenant une électrode de type Ag/AgCl comme référence, une électrode de graphite comme contre-électrode et une électrode de carbone vitreux recouverte de carbure de molybdène (Mo_2C -GCE, GCE = glassy carbon electrode) comme électrode de travail. La contre-électrode est placée dans un compartiment séparé des deux autres électrodes par une membrane conductrice des ions. L'électrolyte liquide est quant à lui constitué d'une solution d'acide chlorhydrique ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$).

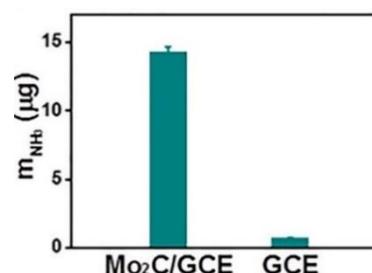
Sauf indication contraire, du diazote gazeux est amené dans la solution d'électrolyte par un bulleur placé dans le compartiment cathodique.

Les valeurs de potentiel de l'électrode de travail sont présentées par rapport à l'électrode standard à hydrogène (RHE en anglais). Le rendement faradique (noté FE = faradic efficiency) est calculé à partir d'une valeur moyenne du courant ayant circulé au cours de l'électrolyse considérée.

Expérience 1 :

Une première électrolyse est réalisée en prenant le dispositif décrit dans le descriptif général, et une seconde est réalisée en prenant pour électrode de travail une électrode de carbone vitreux (GCE) sans revêtement de carbure de molybdène.

Pour chacune des électrolyses, la quantité d'ammoniac produit est mesurée et reportée sur la courbe ci-contre.

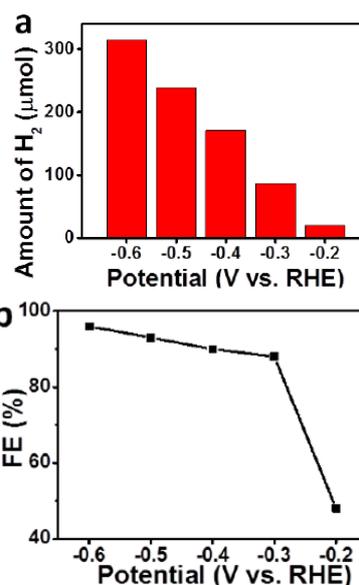


Expérience 2 :

Une série d'électrolyses est réalisée en faisant varier le potentiel de l'électrode de travail entre $-0,2$ V et $-0,6$ V. Pour chacune de ces électrolyses, la quantité totale de dihydrogène produit est mesurée en analysant le gaz de sortie par chromatographie en phase vapeur.

Le diagramme **a** présente la quantité de dihydrogène produit lors d'une électrolyse en fonction du potentiel appliqué à l'électrode de travail.

La courbe **b** présente les valeurs du rendement faradique relatif à la production de dihydrogène en fonction du potentiel appliqué à l'électrode de travail.

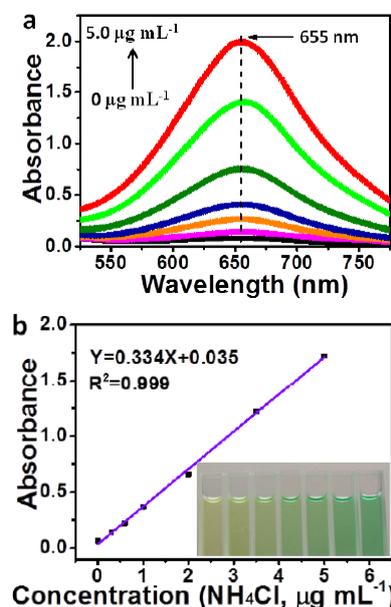


Expérience 3 :

Une gamme de solutions de concentrations connues en chlorure d'ammonium est préparée (concentrations de 0 à 5 μg.mL⁻¹). Pour chacune de ces solutions, le test de Berthelot (ou encore test au bleu indophénol) est réalisé. Ce test consiste à prélever 2 mL de chacune des solutions puis d'y ajouter successivement :

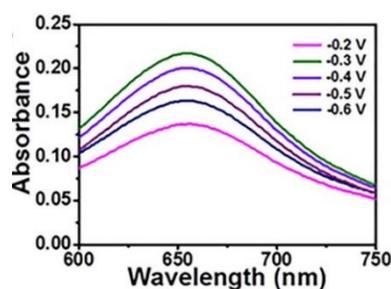
- 2 mL d'une solution de NaOH (1 mol.L⁻¹) contenant 5 % en masse d'acide citrique et 5 % en masse d'acide salicylique ;
- 1 mL d'une solution de NaClO (0,05 mol.L⁻¹) ;
- 0,2 mL d'une solution à 1 % massique en C₅FeN₆Na₂O

Chacune des solutions colorées obtenues est placée dans une cuve de spectrophotomètre, puis le spectre d'absorption dans le visible est enregistré (figure a). La valeur de l'absorbance, mesurée au maximum d'absorption, est tracée en fonction de la concentration en ammonium (figure b).



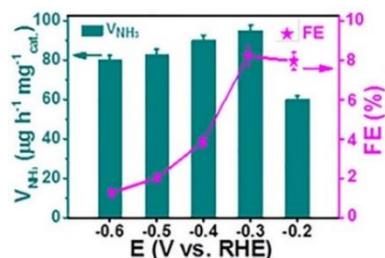
Expérience 4 :

Une série d'électrolyses est réalisée en faisant varier le potentiel de l'électrode de travail entre $-0,2$ V et $-0,6$ V. À la fin de chacune de ces électrolyses, la solution du compartiment cathodique est analysée par la méthode de Berthelot, et un spectre d'absorbance dans le visible est enregistré. La superposition des spectres obtenus est présentée sur la figure ci-contre.



Expérience 5 :

Une série d'électrolyses est réalisée en faisant varier le potentiel de l'électrode de travail entre $-0,2$ V et $-0,6$ V. Pour chacune de ces électrolyses, la quantité d'ammoniac produit est mesurée (en microgramme par heure et par milligramme de catalyseur) et le rendement faradique relatif à la production d'ammoniac est calculé. Le diagramme ci-contre présente ces deux grandeurs en fonction du potentiel appliqué à l'électrode de travail.

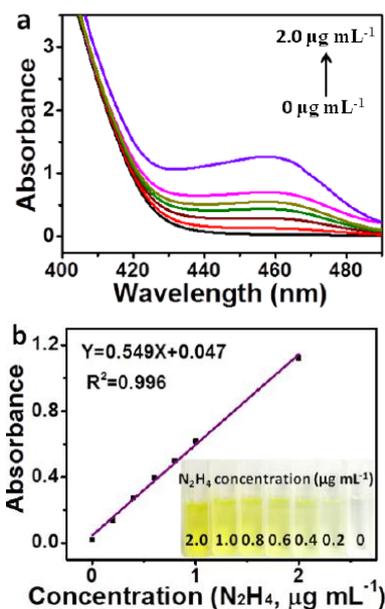


Expérience 6 :

Une gamme de solutions de concentrations connues en hydrazine (N_2H_4) est préparée. Pour chacune de ces solutions, le test de Watt et Chrisp est réalisé. Ce test consiste à prélever 5 mL de chacune des solutions puis d'y ajouter 5 mL d'une solution préparée en mélangeant :

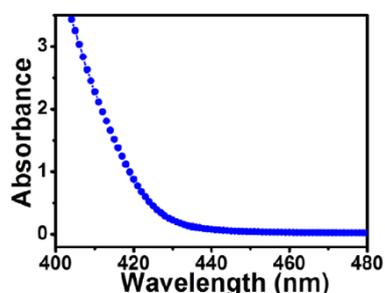
- 300 mL d'éthanol
- 30 mL d'acide chlorhydrique concentré
- 5,99 g de *para*-diméthylamino-benzaldéhyde.

Chacune des solutions colorées obtenues est placée dans une cuve de spectrophotomètre, puis le spectre d'absorption dans le visible est enregistré (figure a). La valeur de l'absorbance, mesurée au maximum d'absorption (465 nm), est tracée en fonction de la concentration en hydrazine (figure b).



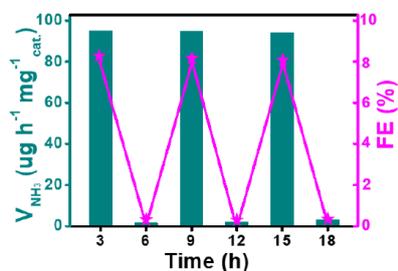
Expérience 7 :

Une électrolyse est menée en portant l'électrode de travail au potentiel de $-0,3$ V. À l'issue de l'électrolyse, la solution du compartiment cathodique est prélevée et analysée par la méthode de Watt et Chrisp. Le spectre d'absorption dans le visible est enregistré et présenté sur la figure ci-contre.



Expérience 8 :

Une électrolyse est menée sur 3 heures en portant l'électrode de travail au potentiel de $-0,3$ V et en faisant buller du diazote dans la solution d'électrolyte, puis, les 3 heures suivantes, en y faisant buller de l'argon. Cette alternance est répétée pour plusieurs cycles, en calculant la quantité d'ammoniac formé pour chaque période. La courbe ci-contre présente à la fois la quantité d'ammoniac formé (en microgramme par heure et par milligramme de catalyseur) et le rendement faradique relatif à la production d'ammoniac correspondant (FE).



20. Proposer un schéma légendé représentant le montage utilisé pour réaliser les expériences d'électrochimie.
21. Commenter en quelques lignes chacune des expériences présentées en détaillant les informations qu'elle amène pour l'étude du système étudié.
22. Recouper les expériences entre elles et en extraire une analyse détaillée du système présenté.

Cette question demande la mise en place d'un raisonnement scientifique structuré et clairement explicite avec des hypothèses et des conclusions lorsqu'elles existent. Les réponses gagneront à être agrémentées de schémas appropriés pour illustrer leurs propos.

Expliquer, entre autres, comment les auteurs utilisent ces expériences pour :

- montrer que leur système fonctionne ;
- optimiser les conditions opératoires ;
- tester et/ou éliminer la présence de réactions parasites ;
- justifier le faible rendement énergétique.

Partie C. Utilisation de l'ammoniac en synthèse organique

L'ammoniac intervient en chimie organique sous de nombreuses formes. Il peut par exemple jouer le rôle de solvant, de base sous forme d'amidure, d'acide sous forme d'ammonium...

Les propriétés nucléophiles de l'ammoniac sont aussi mises à profit dans des réactions permettant d'introduire des fonctions amine sur les molécules. L'une de ces réactions est la réaction de Strecker qui permet de synthétiser des acides alpha-aminés à partir d'aldéhydes. La suite de cette partie porte sur l'étude des caractéristiques générales de cette réaction, puis son application en synthèse totale.

Un soin particulier est attendu dans l'écriture des représentations moléculaires et des mécanismes réactionnels ; les formules utilisées dans les réponses aux questions de cette partie portant un astérisque () après le numéro devront obligatoirement être des représentations topologiques et faire apparaître les doublets non liants et les formes mésomères des intermédiaires réactionnels s'il y a lieu.*

Présentation de la réaction :

La réaction de Strecker a été mise au point en 1850 par Adolph Strecker pour la synthèse d'acides aminés. Historiquement, il s'agit de la réaction entre un aldéhyde **1**, de l'ammoniac en solution dans le méthanol et l'acide cyanhydrique pour former, dans un premier temps, un α -aminonitrile **2** puis, après une étape d'hydrolyse acide, un acide α -aminé **3** (Figure 3).

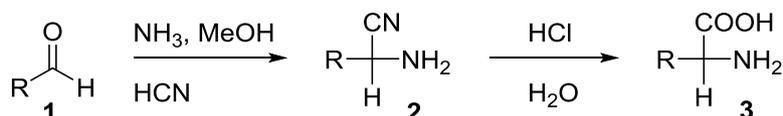


Figure 3 : Synthèse historique de Strecker.

23. Expliquer l'intérêt de se placer en milieu acide pour cette réaction.
24. Écrire le bilan de la réaction entre un aldéhyde et une molécule d'ammoniac. Indiquer le nom de la fonction formée.
25. (*) Détailler le mécanisme de l'obtention de l'aminonitrile **2** à partir de l'aldéhyde **1**.

26. Nommer le type de réaction permettant l'obtention de l'acide aminé **3**. Indiquer en quoi la spectroscopie infra-rouge permet de suivre l'évolution de cette réaction.

27. Indiquer combien de stéréoisomères de l'acide aminé **3** sont formés par la synthèse de Strecker. Justifier. Préciser la relation de stéréoisomérisie qui les relie.

Synthèse de l'Amiclenomycine

L'Amiclenomycine est un composé qui présente des effets antibiotiques sur certaines microbactéries. La fonction acide aminé de cette molécule est essentielle pour que cette dernière soit reconnue au niveau de la bactérie et puisse activer son effet antibiotique. Cet acide aminé est introduit sur la molécule par la réaction de Strecker en fin de synthèse. La voie de synthèse de l'Amiclenomycine, à partir du 1,4-butanediol (**4**), est présentée sur la figure 4. Les rendements des réactions mises en jeu, arrondis à la dizaine la plus proche, sont présentés pour chaque étape.

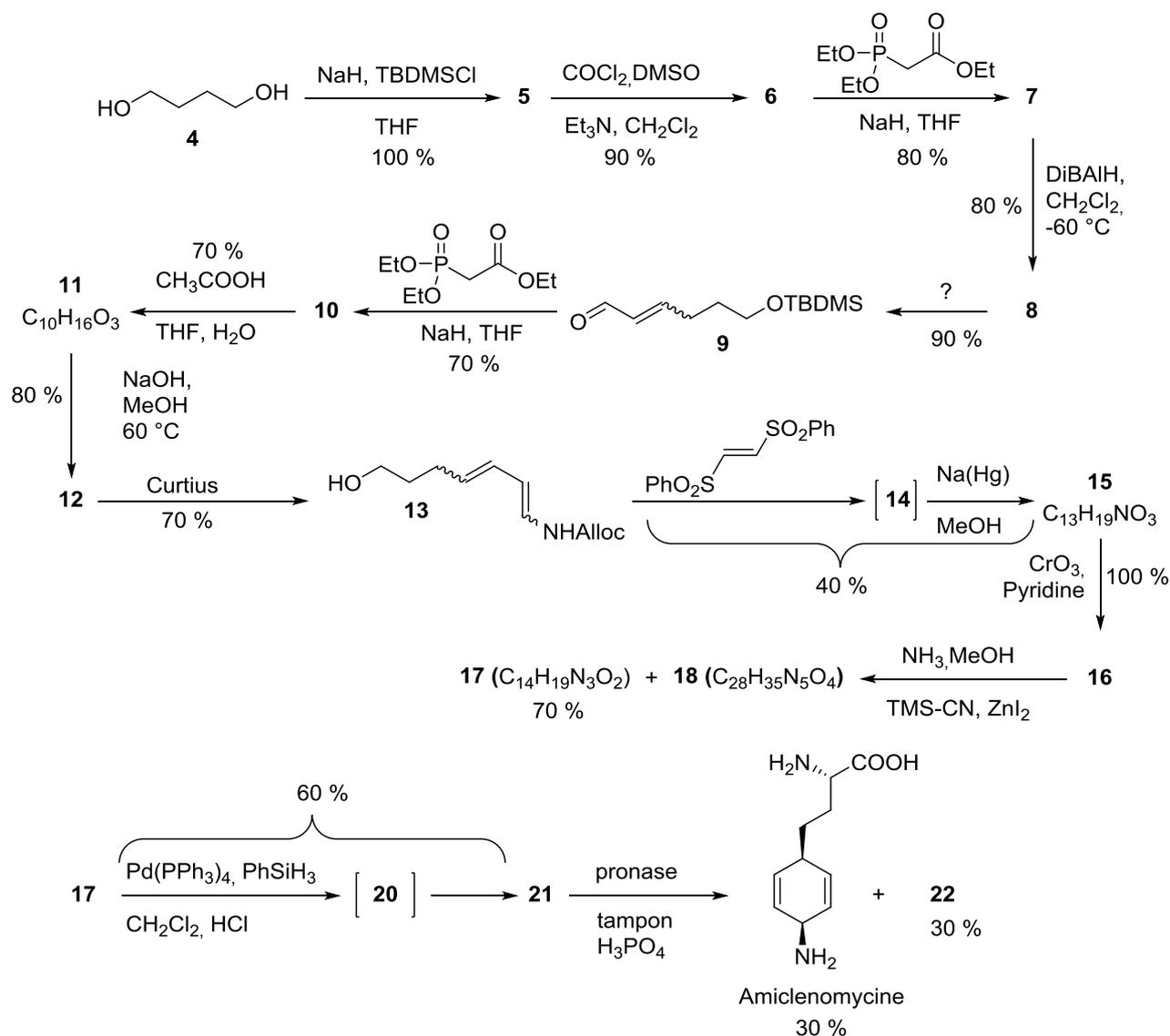


Figure 4 : Schéma de synthèse de l'Amiclenomycine.

28. Déterminer, en le justifiant, le stéréodescripteur du centre stéréogène portant la fonction acide aminé de l'Amiclenomycine.

29. (*) Écrire la structure du composé **5** et détailler le mécanisme de son obtention.

La description du spectre RMN du composé **6** est donnée ci-dessous.

^1H NMR (200 MHz), δ (ppm) : 0,01 (s, 6H) ; 0,85 (s, 9H) ; 1,83 (tt, J=7,1 ; 6,5 Hz, 2H) ; 2,48 (td, J=7,1 ; 1,6 Hz, 2H) ; 3,62 (t, J=6,5 Hz, 2H) ; 9,76 (t, J=1,6 Hz, 1H).

30. Analyser le spectre RMN en présentant vos résultats sous forme d'un tableau, en déduire la structure du composé **6**.
31. (*) Proposer un mécanisme pour la réaction d'obtention du composé **6** et indiquer combien d'équivalents de triéthylamine sont nécessaires pour cette réaction.
32. Représenter la structure du composé **7** en précisant la stéréochimie de la fonction nouvellement formée.
33. Proposer une voie de synthèse pour le réactif phosphoré utilisé pour cette réaction.
34. Écrire la structure du composé **8** sachant que le spectre de celui-ci présente une large bande vers 3300 cm^{-1} en spectroscopie infra-rouge.

Le composé **8** est transformé en une étape pour fournir le composé **9** qui est représenté sur la figure 4. La stéréochimie n'est pas précisée sur la figure, mais elle contrôlée et est attendue dans les réponses.

35. Proposer des conditions opératoires pour obtenir le composé **9**.
36. Représenter la structure du composé **10**.
37. Écrire la structure du composé **11**.
38. (*) Représenter la structure du composé **12** et détailler le mécanisme de son obtention. Nommer la réaction mise en jeu.

Le composé **13** est ensuite obtenu par une réaction de type Curtius qui permet, dans le cas présent, d'introduire un groupement amine protégé par un groupe alloc. Le composé **13** est représenté dans le schéma de synthèse sans information sur la stéréochimie des doubles liaisons.

Le composé **13** réagit avec le *trans*-1,2-bis(phénylsulfonyl)éthylène pour mener à un composé intermédiaire **14**. Ce dernier n'est pas isolé, mais est directement transformé sous l'action d'un amalgame de sodium pour mener au composé **15** ne présentant plus de groupe phénylsulfonyle.

Le composé **14** est en réalité composé d'un mélange de deux stéréoisomères que l'on notera **14a** et **14b**.

39. Représenter les structures des composés intermédiaires **14a** et **14b**, ainsi que les états de transitions qui ont mené à chacun de ces produits. Préciser la relation de stéréoisomérisation qui relie ces deux produits.
40. Indiquer le nom de la réaction mise en jeu pour obtenir les composés **14**.

L'amalgame de sodium provoque une réaction d'élimination qui fournit le composé **15** sous la forme d'un seul stéréoisomère.

41. Écrire la structure du composé **15**.
42. Écrire la structure du composé **16**. Nommer les conditions utilisées pour cette réaction.

La transformation du composé **16** par la réaction de Strecker mène à l'obtention de deux produits. Le composé **17** souhaité est obtenu de manière majoritaire, mais, dans certaines expériences, un dimère **18** est aussi observé. Les conditions historiques de la réaction de Strecker sont particulièrement toxiques puisqu'elles mettent en jeu de l'acide cyanhydrique. Pour la synthèse de l'Amiclenomycine, des conditions plus douces ont été utilisées en remplaçant l'acide cyanhydrique par un mélange de cyanure de triméthylsilyle et d'iodure de zinc (II).

43. Représenter la structure du composé **17**.
44. Identifier les rôles du cyanure de triméthylsilyle et de l'iodure de zinc (II) dans la réaction de Strecker. Justifier.
45. (*) Proposer une structure pour le dimère **18** ainsi qu'un mécanisme expliquant sa formation.

Le composé **17** est ensuite engagé dans une réaction de déprotection du groupement alloc en présence de palladium. La déprotection fonctionne bien, cependant, au cours des lavages acides de la diamine **20** obtenue, le groupement cyano est partiellement hydrolysé pour mener à l'amide **21**.

46. Préciser la structure de la diamine **20**.
47. Indiquer la structure de l'amide **21**.

Les deux énantiomères de l'amide **21** sont enfin séparés à l'aide d'une pronase (mélange de protéases) immobilisée dans un tampon phosphate. Ce traitement permet également de réaliser l'hydrolyse de la fonction amide pour mener à l'Amiclenomycine et son énantiomère **22**.

48. Représenter la structure du composé **22**.
49. Estimer une valeur approchée du rendement de synthèse de l'Amiclenomycine à partir du composé **4**.

FIN DE L'ÉPREUVE

ANNEXES

Électronégativité (selon l'échelle de Pauling) de quelques éléments

Électronégativité	Élément chimique
1,90	Silicium
2,20	Hydrogène
2,55	Carbone
3,04	Azote
3,44	Oxygène

Constantes d'acidité de quelques couples acide-base

Couple	H ₃ O ⁺ /H ₂ O	NH ₄ ⁺ /NH ₃	H ₂ O/HO ⁻	NH ₃ /NH ₂ ⁻
pKa	0	9,1	14	30

Potentils standards de quelques couples rédox (à pH = 0)

Couple	N ₂ /N ₂ H ₄	N ₂ /NH ₃	H ₃ O ⁺ /H ₂	O ₂ /H ₂ O
E° (V)	-0,23	-0,057	0	1,23

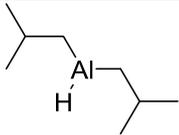
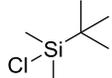
Tables de caractères de quelques groupes ponctuels

C _{2v}	E	C ₂	σ _v (xy)	σ' _v (yz)		
A ₁	1	1	1	1	z	x ² , y ² , z ²
A ₂	1	1	-1	-1	R _z	xy
B ₁	1	-1	1	1	x, R _y	xz
B ₂	1	-1	-1	1	y, R _x	yz

C _{3v}	E	2C ₃	3σ _v		
A ₁	1	1	1	z	x ² + y ² , z ²
A ₂	1	1	-1	R _z	
E	2	-1	0	(x, y), (R _x , R _y)	(x ² - y ² , xy), (xz, yz)

C _{3h}	E	C ₃	C ₃ ²	σ _h	S ₃	S ₃ ⁵		ε = exp(2πi/3)	
A'	1	1	1	1	1	1	R _z	x ² + y ² , z ²	
E'	{	1	ε	ε*	1	ε	ε*	(x, y)	(x ² - y ² , xy)
	1	ε*	ε	1	ε*	ε			
A''	1	1	1	-1	-1	-1	z		
E''	{	1	ε	ε*	-1	-ε	-ε*	(R _x , R _y)	(xz, yz)
	1	ε*	ε	-1	-ε*	-ε			

Molécules nécessaires à la synthèse :

Alloc	<p>Groupe allyloxycarbonyle</p> $\text{R}-\text{NH}-\text{Alloc} = \text{R}-\text{N}(\text{H})-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$
DiBAIH	<p>Hydruure de diisobutylaluminium</p> 
DMSO	<p>Diméthylsulfoxyde</p> 
MeOH	Méthanol
Pyridine	
TBDMSCl	<p>Chlorure de <i>tert</i>-butyldiméthylsilyle</p> 
THF	<p>Tétrahydrofurane</p> 
TMS-CN	<p>Cyanure de triméthylsilyle</p> 