



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Etude de l'influence de la basicité sur l'enthalpie de réaction des sels N-méthoxycarbonyl-(oxy)-pyridiniums

Kokou Agbékonyi AGBODAN^{1*}, Oudjaniyobi SIMALOU²,
Gneiny Whad TCHANI² et Koffi JONDO¹

¹ Laboratoire de Génie des Procédés et Ressources Naturelles (LAGEPREN), Département de Chimie, Université de Lomé, 01 BP 1515 Lomé 01, Lomé, Togo.

² Laboratoire de Chimie Organique et des Substances Naturelles (LabCosNat), Département de Chimie, Université de Lomé, 01 BP 1515 Lomé 01, Lomé, Togo.

*Auteur correspondant ; E-mail : akatologo@gmail.com

RESUME

Les hétérocycles sont importants, aussi bien dans les domaines biologique, médicinal et thérapeutique (vitamines, hormones, antibiotiques, etc), que dans le secteur industriel et technologique (inhibiteurs de corrosion, colorants, agents stabilisants, pesticides, herbicides). Les chloroformates ou chlorocarbonates sont les esters dérivés de l'acide chloroformique. La chimie des N-oxydes hétérocycliques (pyridine et N-oxydes) a connu un important développement au cours des dernières années. L'objectif principal du présent travail est l'étude de l'action du méthoxycarbonylchlorure sur la pyridine et certains de ses dérivés. Après avoir trouvé les conditions optimales, de nouveaux composés à base de pyridine ont été synthétisés. En remplaçant l'ion chlorure par d'autres ions, les produits synthétisés ont été cristallisés avec un bon rendement. La structure des produits a été caractérisée à l'aide de la spectroscopie infra rouge et la résonance magnétique nucléaire. Spécifiquement, l'influence de la basicité du noyau hétérocyclique sur les enthalpies de formation des sels produits a été étudiée. En conclusion, la réaction chimique de formation est exothermique avec $\Delta H^\circ < 0$ pour tous les sels étudiés. En utilisant les constantes de Hammett sur le noyau de la pyridine, l'étude a montré que ces chaleurs de réaction dépendent de la basicité du noyau hétérocyclique. En perspective on peut envisager une étude de l'influence de la basicité des différents noyaux pyridiniques sur les effets de conjugaison polaire directe sur le groupe azoté dans les sels N-méthoxycarbonyl-(oxy)-pyridiniums.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Pyridine N-Oxyde, chloroformates, synthèse, constante de Hammett.

Study of the influence of basicity on the enthalpy of reaction of N-methoxycarbonyl- (oxy) -pyridinium salts

ABSTRACT

Heterocycles are important, as well in the biological, medicinal and therapeutic fields (vitamins, hormones, antibiotics, etc.), as in the industrial and technological sector (corrosion inhibitors, dyes, stabilizing agents, pesticides, herbicides). Chloroformates or chlorocarbonates are esters derived from chloroformic acid. The chemistry of heterocyclic N-oxides (pyridine and N-oxides) has experienced significant development in

recent years. The main objective of this work is to study the action of methoxycarbonylchloride on pyridine and some of its derivatives. After finding the optimal conditions, new pyridine-based compounds were synthesized. By replacing the chloride ion with other ions, the synthesized products have been crystallized with good yield. Specifically, the influence of the basicity of the heterocyclic nucleus on the enthalpies of salt formation produced has been studied. The enthalpies formation of salt produced have been determined. In conclusion, the chemical reaction of formation is exothermic with $\Delta H^\circ < 0$ for all the salts studied. Using Hammett's constants on the pyridine nucleus, the study has shown that these reaction heats depend on the basicity of the heterocyclic nucleus. In perspective, we can study the influence of the basicity of the different pyridine rings on the effects of direct polar conjugation on the nitrogen group in the N-methoxycarbonyl- (oxy) -pyridinium salts.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Pyridine N-Oxide, chloroformates, synthesis, Hammett constant.

INTRODUCTION

La pyridine comme matière première pour synthétiser des alcaloïdes telle que la lentiginosine et ses épimères en très peu d'étapes avait été étudiée par Rabah. Les étapes clé sont une alkylation de pyridinium par réaction de Mitsunobu, ainsi qu'une réduction du pyridinium en pipéridinium. Les sels de pyridiniums sont donc très importants comme produits de synthèse prometteurs dans l'industrie (Petit, 2010 ; Xiao et al., 2014). D'autres études incluant la pyridine et ses N oxydes sont mentionnées par la littérature scientifique (Boulebd, 2016 ; Sowmiah et al., 2018).

La synthèse et l'étude par des méthodes spectroscopiques comme la RMN et l'IR d'une série de ces sels en solution dans des solvants aprotiques ont été réalisées. Les caractéristiques des noyaux hétérocycliques des différentes bases utilisées ont été comparées avec celles des produits des réactions provoquées. Ainsi l'action du métoxycarbonylchloride sur la pyridine, la pyridine N-oxyde et certains de ses dérivés en solution a été suivie.

Malgré l'importance accordée à ces sels, l'analyse des données bibliographiques existantes montre qu'une étude systématique de la structure des sels N-alcoxycarbonyl(oxy)pyridiniums dans un large diapason de changement de leurs structures et de leurs propriétés physico chimiques n'a pas

été faite. L'objectif général est l'étude de la structure des sels N-alcoxycarbonyl(oxy)pyridiniums.

Spécifiquement il s'agit d'étudier l'influence de la basicité des différents noyaux hétérocycliques sur l'enthalpie de la réaction de formation des produits.

MATERIEL ET METHODES

Les structures des composés organiques peuvent être élucidées sur la base des données spectrales de résonance magnétique nucléaire et infra rouge (Bawa et al., 2018). Il existe une méthode traitant des aspects pratiques indispensables au choix de la technique la plus adaptée à la résolution de problèmes concrets, liés à l'identification spectrométrique de composés organiques (Kiemle et al., 2016 ; Sowmiah et al., 2018). Kanyonga et al. (2010) ont utilisé de méthodes similaires lors de la synthèse et l'évaluation de l'activité pharmacologique de la 4-phényl-1,5-benzodiazépin-2-one et ses dérivés. Les mêmes méthodes nous ont permis de caractériser les produits de réactions de la pyridine et de ses N oxydes avec le métoxycarbonylchloride. La réaction inverse d'hydrolyse est à contrôler strictement par l'utilisation de réactifs qui doivent être dans les proportions stœchiométriques et cela dans une atmosphère sèche. Tous les réactifs comme les solvants ont été purifiés et déshydratés pour éviter cette hydrolyse.

Les spectres IR ont été obtenus sur un spectromètre Perkin Elmer 180 FIR. L'étalonnage s'est effectué à base des données des composés étalons (CO_2 gazeux, NH_3 , H_2O). L'erreur absolue sur les mesures de fréquence ne dépasse pas $\pm 0,5 \text{ cm}^{-1}$, et sur les intensités intégrales, elle est de $\pm 5-10\%$. Les cuvettes avec des fenêtres en KBr et en polyéthylène utilisées ont des épaisseurs comprises entre 0,1-5,0 mm. Les spectres RMN furent enregistrés à l'aide des spectromètres Tesla BS-467 et VARIAN avec une fréquence de mesure de 60 MHz et Gemini-200 (VARIAN) avec 200 MHz comme fréquence. Un standard interne approprié fut utilisé. L'erreur sur les mesures des déplacements chimiques est de $\pm 0,005 \text{ ppm}$.

Toutes les réactions chimiques s'accompagnent, sauf cas exceptionnelle, d'un dégagement ou d'une absorption de chaleur. Cette chaleur de réaction peut être mesurée par une méthode calorimétrique. En considérant deux variables qui sont la pression et le volume, on peut exprimer, la chaleur de réaction sous forme de variation d'enthalpie ΔH (à pression constante) ou de variation d'énergie interne ΔU (à volume constant). Il est possible de mesurer une variation d'enthalpie à l'aide d'un calorimètre ou la calculer grâce à l'observation d'un diagramme énergétique ou en utilisant le bilan énergétique d'une réaction. La méthode utilisée dans la présente étude est le dosage calorimétrique des solutions des produits de la réaction en solution dans le chloroforme. Dans le calorimètre isoperbolique utilisé, le dégagement ou l'absorption de chaleur est déterminé à partir du changement de température lors d'un échange de chaleur entre l'enceinte et la membrane thermostatique. Cela a permis la détermination des chaleurs de réactions produites par l'action des bases azotées dérivées de la pyridine et de son N oxyde avec le méthoxycarbonyl chloride.

Pour la mesure de la chaleur de réaction, le fondement de la méthode est la mesure de la quantité de chaleur (Q_p) émise (ou absorbée) au cours de la réaction dans la cellule calorimétrique. La cellule est pleine de la solution à titrer de concentration C_A pour les changements mesurables des concentrations C_B de (B). A l'issue de réaménagements mathématiques des données expérimentales qui sont de la forme $Q_p = f(C_B)$, le système stœchiométrique de la réaction étudiée a été défini et les paramètres thermodynamiques de toutes les étapes ont été déterminés.

Purification de la pyridine N-oxyde

Elle a été purifiée à l'aide de méthodes standardisées et distillée sous vide.

Synthèse et purification de l'agent CH_3OCOCI

La synthèse du phosgène et du méthoxycarbonylchloride a été effectuée selon des méthodes décrites dans la littérature. Les caractéristiques physico-chimiques des composés obtenus sont conformes aux données de la littérature (Agbodan, 1994).

Synthèse du perchlorate-N-méthoxycarbonyl-4-diméthylaminopyridinium

Dans une solution 10^{-3} M de méthylchloroformiate (dans 10 ml CH_3CN), il a été ajouté successivement 10^{-3} M du 4-diméthylaminopyridine (dans 10 ml CH_3CN) et 10^{-3} M de perchlorate de sodium (dans 10 ml de CH_3CN). Le précipité de NaCl a été filtré. Le filtrat a ensuite été traité avec de l'éther sec. Il s'est formé un précipité blanc cristallin qui a été traité par lavage encore avec de l'éther.

Synthèse du Phénylsulfonate du MCMAP*

Dans une solution 10^{-3} M de méthylchloromiate (dans 10 ml de CH_3CN) on a ajouté goutte à goutte 10 ml d'une solution 10^{-3} M de 4-diméthylaminopyridine (en

solution dans CH_3CN) et 10 ml d'une solution de phénylsulfonate d'argent (en solution dans CH_3CN). Un précipité blanc de chlorure d'argent a été recueilli. Après traitement du filtrat par de l'éther sec, un précipité blanc sous forme de cristal a de nouveau été recueilli, et relavé avec de l'éther sec.

Le produit synthétisé est le phénylsulphonate-N-méthoxycarbonyl-4-diméthylaminopyridinium avec un rendement de 95%

*= N-méthoxycarbonyl-4-diméthylaminopyridinium

Purification du chloroforme

Ce composé a été lavé à l'eau puis à l'aide de l'acide sulfurique concentré jusqu'au milieu neutre. Après cela le solvant a été séché sous CaCl_2 et distillé sous P_2O_5 .

$T_{\text{ébul}} = 334,5 \text{ K}$ $n_D = 1,4463$.

Purification de l'acétonitrile

Ce solvant a été distillé sous P_2O_5 jusqu'à sa non coloration. Après cela l'acétonitrile a suivi une distillation sous CaCl_2 sec. A la fin, le solvant a été distillé seul et la fraction moyenne a été recueillie. $T_{\text{ébul}} = 335 \text{ K}$ $n_D = 1,3444$.

RESULTATS

Le phosgène et le CH_3OCOC ont été étalés sur couches minces entre les lamelles de KBr , et les vibrations squelettiques du groupe carbonyle ($\nu_{\text{C=O}}$) sont de 1807 cm^{-1} et 1790 cm^{-1} , respectivement. Les températures d'ébullition ont été $281,3 \text{ K}$ pour le COCl_2 et 344 K pour le méthoxycarbonylchlorure et sont conformes aux données de la littérature. A la température ambiante, les sels étudiés se sont formés avec un rendement important (95% pour le phénylsulphonate-N-méthoxycarbonyl-

4-diméthylaminopyridinium par exemple). La composition chimique des éléments est très concordante avec les résultats théoriques. Les formules brutes sont confirmées par microanalyse. Les pourcentages théoriques du carbone, de l'hydrogène, du chlore et de l'azote sont de 38,71, 4,68, 12,71 et 10,19, comparés aux valeurs expérimentales de 38,52, 4,67, 12,60 et 9,98 respectivement pour le perchlorate-N-méthoxycarbonyl-4-diméthylaminopyridinium. Dans nos conditions expérimentales les caractéristiques spectroscopiques ont été déterminées. Les structures des composés ont été déterminées par IR. Les caractéristiques spectroscopiques comme les fréquences de vibrations squelettiques du groupe carbonyle $\nu_{\text{C=O}}$ des sels étudiés sont différentes de celles du méthoxycarbonylchlorure mais varient très peu : de $1820,5$ à 1821 cm^{-1} pour les sels. Même avec de différents anions cette différence n'est pas remarquable et les valeurs sont identiques dans les limites des erreurs de manipulation. Les fréquences des vibrations de valence du noyau hétérocyclique ν_{8a} et ν_{8b} sont compris entre 1590 et 1655 cm^{-1} . Les intensités intégrales de la vibration $\nu_{\text{C=O}}$ dans les produits ont des valeurs pas très élevées. Les produits étudiés sont très polaires avec des moments dipolaires qui varient dans un large diapason, entre 15,6 et 20,9 D. Toutes les réactions de formation étudiées sont exothermiques avec des chaleurs de réaction qui varient de $-114 \pm 5 \text{ kJ.mol}^{-1}$ pour le chlorure-N-méthoxycarbonyloxy-4-diméthylaminopyridinium à $-10 \pm 1 \text{ kJ.mol}^{-1}$ pour le chlorure-N-méthoxycarbonylpyridinium. Les principaux résultats sont répertoriés dans les Tableaux 1 à 5 et sur la Figure 1, la relation linéaire entre les constantes de Hammett et les enthalpies de formation des sels est démontrée.

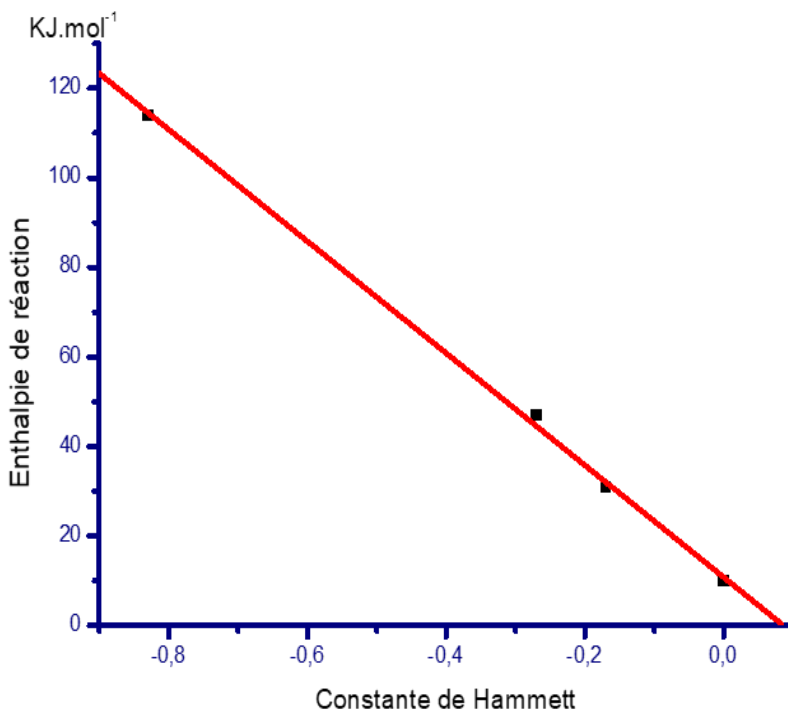


Figure 1 : Evolution de l'enthalpie de réaction de formation des sels en fonction de la constante de Hammett.

Tableau 1 : Caractéristiques physico chimiques de l'agent acylant.

Nom	Formule	T _{éb}	D ₄ ²⁰	$\nu_{C=O}^*$ (cm ⁻¹)	Réf.
Phosgène	COCl ₂	281,3K	1,392 ¹⁹	1807	(Agbodan, 1994)
Méthylchlorofomiate	CH ₃ OCOCI	344 K	1,236	1790	(Agbodan, 1994)

*couche mince entre les lamelles de KBr

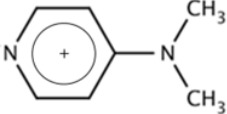
Tableau 2 : Caractéristiques physico chimiques du Perchlorate-N-méthoxycarbonyl-4-diméthylaminopyridinium.

Elément	Résultats théoriques	Résultats expérimentaux
Carbone	38,71	38,52
Hydrogène	4,68	4,67
Chlore	12,71	12,60
Azote	10,19	9,98

Tableau 3: Caractéristiques spectroscopiques des vibrations squelettiques de valence des noyaux de certains sels N-méthoxycarbonylpyridinium de formule :

$$R_1-O-C \begin{matrix} // O \\ \backslash R_2 \end{matrix} \cdot X^-$$

(En solution dans l'acétone)

R ₁	R ₂	X	ν _{Pyr} cm ⁻¹		B 10 ⁻³ l.mol ⁻¹ .cm ⁻²	
			8a	8b	8a	8b
CH ₃ -		Cl	1655,0	1590,0		
CH ₃ -		ClO ₄	1652,0	1590,0	26,1	7,0
CH ₃ -		B(C ₆ H ₅) ₄	1654,0	1590,0	26,4	
CH ₃ -		C ₆ H ₅ SO ₃	1590,0	27,1	7,4	

Dans le tableau: B = Intensité intégrale, Pyr = Pyridine

Tableau 4: Caractéristiques spectroscopiques des vibrations squelettiques de valence des noyaux de certains sels N-méthoxycarbonyl-oxy-pyridinium de formule :

$$R_1-O-C \begin{matrix} // O \\ \backslash R_2 \end{matrix} \cdot X^-$$

(En solution dans l'acétone)

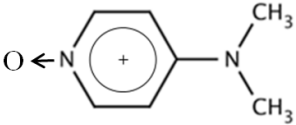
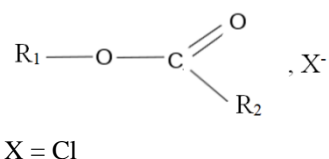
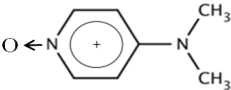
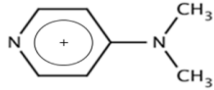
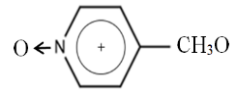
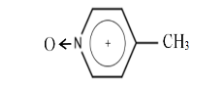
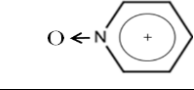
R ₁	R ₂	X	ν _{C=O}	ν _{Pyr} cm ⁻¹		B 10 ⁻³ l.mol ⁻¹ .cm ⁻²	
				8a	8b	8a	8b
CH ₃ -		Cl	1820,5	1641,0	1571,0		
CH ₃ -		ClO ₄	1821,0	1641,0	1576,0	21,5	11,3
CH ₃ -		B(C ₆ H ₅) ₄	1821,0	1641,0	1576,0	22,3	
CH ₃ -		C ₆ H ₅ SO ₃	1821,0	1641,0	1576,0	22,1	10,3

Tableau 5: Intensités intégrales et enthalpies de formation de certains sels (CHCl₃) et à 298K)

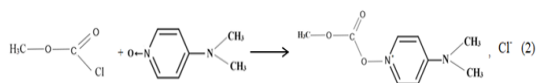
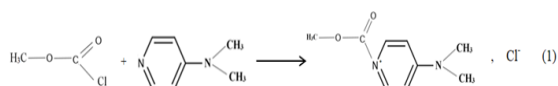
Formule des sels étudiés :



R ₁	R ₂	r ± .10 ¹⁰ (m)	α + .10 ³⁰ (m ³)	μ (D)	B ± (l.mol ⁻¹ .cm ⁻²)	ΔH°
CH ₃ -		4,4	20,9	20,9	11800	-114±5
CH ₃ -		4,54	20,5	16,3	10800	-131±5
CH ₃ -		4,34	18,3	18,3	11600	-47±3
CH ₃ -		4,4	17,6	14,8	10700	-31±2
CH ₃ -		4,21	15,6	15,8	12000	-10±1

DISCUSSION

A partir des équations (1) et (2), les structures des réactants présentent d'un changement dans leurs configurations électroniques. Les caractéristiques spectroscopiques ne seront pas les mêmes.



Pour supprimer l'influence de l'association ionique sur les caractéristiques spectroscopiques, toutes les valeurs des Tableaux (3), (4) et (5) sont trouvées après une extrapolation vers une concentration nulle. Les résultats ne dépendent plus de la nature de l'anion. Pour les dérivés de la pyridine, les

modes d'étirement des molécules hétérocycliques apparaissent respectivement dans l'intervalle 1627-1598 cm⁻¹ pour 8a et dans la région 1583-1560 cm⁻¹ pour 8b (Fakhfakh, 2008). Dans les spectres des sels, ces fréquences des vibrations de valence du noyau hétérocyclique υ(8a) et υ(8b) sont supérieures à celles des bases azotées (Tableaux 3, 4). Les fréquences de vibrations squelettiques du groupe carbonyle ν_{C=O} (Tableau 4) ne diffèrent pas fondamentalement de celles des chloroformates qui apparaissent vers 1790 cm⁻¹.

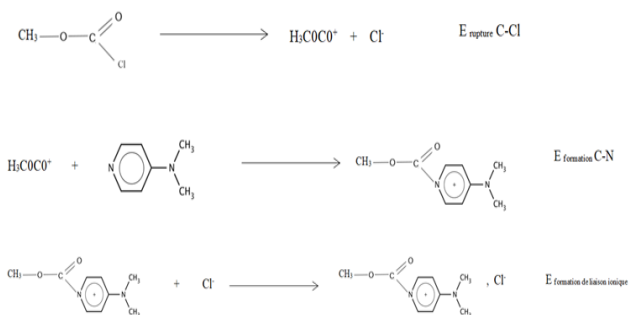
La densité électronique est également influencée par l'effet inductif exercé par l'atome d'azote. Le carbone C4 est le moins influencé par l'effet inductif mais l'est par l'effet mésomère et son signal apparaît à champ intermédiaire. Cela signifie que dans les sels, le noyau hétérocyclique dans le cation influe sur le groupe carbonyle comme un fort accepteur

d'électrons du genre des halogènes qui ont une forte électronégativité. Le caractère d'action des différents fragments et le mécanisme d'évolution des effets électroniques dans les cations N-éthoxy carbonyloniums peuvent être quantifiés par les intensités intégrales des groupes carbonyles $B_{C=O}$ et par les vibrations squelettiques ν_{8a} et ν_{8b} qui permettent de mesurer les effets de conjugaison des systèmes aromatiques. Des données du Tableau 5, on remarque que l'interaction du chlorure methoxycarbonyle, aussi bien avec la 4-diméthylaminopyridine ou son N-oxyde, est une réaction exothermique. Les valeurs des enthalpies dépendent linéairement de la basicité de l'hétérocycle comme le montre la Figure 1. Cette basicité est exprimée par les constantes de Hammett (Garcia et al., 2019).

L'étude de l'influence du solvant peut être faite avec la détermination des enthalpies de réaction. Ainsi les enthalpies d'interaction électrostatique soluté-solvant ont été calculées pour cinq molécules polaires dans deux solvants apolaires. Des résultats des calculs effectués à l'aide de deux méthodes différentes, l'influence du solvant a été caractérisée (Toklo et al., 2014). Dans la présente étude, avec l'exemple des N-oxydes, la dépendance de la nature des groupes donneurs dans le noyau sur les enthalpies de formation des chlorides du N-méthoxycarbonylpyridinium, en solution dans le chloroforme, a été suivie. L'introduction du groupe donneur d'électron 4-N(CH₃)₂ augmente l'effet calorifique de la réaction de 104 KJ.mol⁻¹ par rapport au sel du N-oxyde correspondant. Les enthalpies de formation des chlorides N-méthoxy carbonyl 4-diméthylaminopyridinium sont de 17 KJ.mol⁻¹ supérieures aux valeurs analogues des chlorides N-méthoxy carbonyloxy-4-diméthylaminopyridinium.

L'analyse des données thermodynamiques montre que cela est dû au fait que les enthalpies de formation de liaison de C-N et de C-O sont très différentes. L'enthalpie standard de formation de la liaison C-N est de 292 KJ.mol⁻¹ et celle de C-O est de

350 KJ.mol⁻¹ (Paul et al., 2016). Au cours des réactions (1) et (2) la liaison C-Cl du chlorure de méthoxycarbonyle se casse et de nouvelles liaisons ioniques (cation⁺, Cl⁻), de covalence C-O (dans le cas du N-méthoxycarbonyloxy-4-diméthylaminopyridinium) et C-N (dans le cas du N-méthoxy carbonyl-4-diméthylaminopyridinium), se forment. Les valeurs des enthalpies figurant sur le Tableau 5 représentent des sommes et ne sont pas liées à une liaison particulière. Le processus de formation du sel sur l'exemple de la réaction du méthylchloroformiate avec la 4-diméthylaminopyridinium peut se mettre sous la forme de systèmes d'équations thermodynamiques suivants :



Avec

$E_{\text{rupture C-Cl}}$: Energie de rupture de la liaison C-Cl du méthylchloroformiate ;

$E_{\text{formation C-N}}$: Energie de formation de la liaison C-N dans le cation pyridinium ;

$E_{\text{formation de liaison ionique}}$: Energie de formation de la paire ionique

Il est facile de remarquer que la différence entre les enthalpies de formation des différents sels étudiés peut être liée aussi bien aux différences entre les valeurs des énergies de formation des paires ioniques, qu'aux différences entre les énergies des liaisons C-O ou C-N.

La différence entre les enthalpies de leurs formations, est due au fait que les forces des liaisons C-N et C-O ne sont pas identiques (Paul et al., 2016). Il est important aussi de noter que le raisonnement utilisé ne prend pas en compte la différence possible entre les

énergies de solvation des paires ioniques correspondantes. Toutefois, en considérant leurs moments dipolaires qui sont très proches, (Tableau.5), on peut supposer que l'apport de la solvation dans les enthalpies de formation des deux sels est pratiquement identique.

Conclusion

L'étude de la structure générale des sels N-alcoxycarbonyl(oxy)pyridiniums était l'objectif général. Spécifiquement il s'agissait de caractériser l'influence de la basicité des différents noyaux hétérocycliques sur l'enthalpie de la réaction de formation des produits en utilisant les constantes de Hammett. Les résultats montrent que, les réactions du méthoxycarbonylchloride sur la pyridine, la pyridine N-Oxyde et les dérivés, en position para, conduisent à la formation de sels N-méthoxy(oxy)pyridiniums. Les intensités intégrales et les pics caractéristiques et analytiques des vibrations dans l'Infra Rouge des sels étudiés sont déterminés. Les moments dipolaires des paires ioniques sont trouvés. Les enthalpies de formation des sels furent déterminées. Une relation de l'influence des effets structuraux sur les caractéristiques thermodynamiques est trouvée. La réaction est exothermique et les enthalpies de réaction dépendent de la basicité du noyau hétérocyclique.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

L'auteur KAA est l'intégrateur principal et a participé à toutes les étapes des manipulations et à la rédaction du manuscrit; TGW a participé à la détermination des structures et à la détermination des enthalpies de réaction et à la rédaction du manuscrit; SO a contribué à l'analyse des données scientifiques et a participé à la préparation du manuscrit ainsi qu'à la recherche

bibliographique, JK est le responsable scientifique de l'étude.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le laboratoire de spectro chimie de l'Institut de physico chimie et de carbochimie de l'académie nationale des sciences de l'Ukraine pour son cadre et son appui.

REFERENCES

- Agbodan KA. 1994. Caractéristiques physico-chimiques et structures des sels N-méthoxycarbonyl-(oxy)-pyridinium. Thèse de doctorat de l'Université de Donetsk, Ukraine, 100p.
- Bawa AS, Bayo-Bangoura M, Ouemega B, Bayo K. 2018. Préparation et études vibrationnelle et électronique de complexes de la phtalocyanine d'or avec des ligands axiaux pyridine et pyridines substituées. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **12**(3): 1516-1527. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i3.35>
- Boulebd H. 2016. Synthèse, caractérisation et évaluation biologique de nouveaux dérivés poly-hétérocycliques à base d'imidazole. Thèse de doctorat de l'Université des Frères Mentouri-Constantine, Algérie, 278p.
- Fakhfakh M. 2008. Étude de nouveaux complexes de type cis-et trans-Pt (Ypy)(L) Cl₂ (Ypy= dérivé de la pyridine et L= pyrazine ou pyrimidine) par spectroscopies infrarouge et de résonance magnétique multinucléaire. Mémoire de Maitrise de Chimie à l'Université du Québec à Montréal, 160p.
- García W, Lezama H, Pumachagua R. 2019. Estudio teórico de la actividad antioxidante de compuestos aromáticos con bases de Schiff heterocíclicas sustituidos en posiciones META y PARA. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, **85**(2) : 242-257.

- Kanyonga P, Zellou A, Essassi M, Cherrah Y. 2010. Synthèse et évaluation de l'activité pharmacologique de la 4-phényl-1, 5-benzodiazépin-2-one et ses dérivés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **4**(1): 19-24.
- Kiemle DJ, Silverstein RM, Webster FX. 2016. Identification spectrométrique de composés organiques-3ème édition. De Boeck Supérieur. 480p.
- Paul A, Jamart B, Bodiguel J, Brosse N. 2016. *Les cours de Paul Arnaud-Exercices résolus de chimie organique*. Dunod ; 696p.
- Petit S. 2010. Réduction de pyridines pour la synthèse de Building-Blocks chiraux: peptidomimétiques de type imidazolique: synthèse et application à la synthèse d'analogues d'intérêt. Thèse de doctorat à l'Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, 226p.
- Sowmiah S, Esperança JM, Rebelo LP, Afonso CA. 2018. Pyridinium salts: from synthesis to reactivity and applications. *Organic Chemistry Frontiers*, **5**(3): 453-493.
- Toklo RM, Atohoun YGS, Eni CA, Mensah JB. 2014. Calcul des enthalpies d'interaction électrostatique de quelques molécules polaires dans le cyclohexane et le tétrachlorure de carbone. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **8**(1): 404-412. DOI: 10.4314/ijbcs.v8i1.34
- Xiao H, Mei C, Ding N, Wei T, Zhang Y, Li B. 2014. Synthesis and photophysical properties of a novel pyridinium salt based on dipicolinate. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **273**: 29-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2013.09.005>.