



Original Paper

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

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

Préparation et études vibrationnelle et électronique de complexes de la phtalocyanine d'or avec des ligands axiaux pyridine et pyridines substituées

Ali Sanda BAWA^{1*}, Mabinty Bayo-BANGOURA², Bertrand OUEMEGA² et
Karifa BAYO²

¹ Université d'Agadez, BP 199, Agadez, Niger.

² Laboratoire de Chimie Moléculaire et des Matériaux ; Equipe Chimie de Coordination, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

*Auteur correspondant ; E-mail : sandabawaali@yahoo.fr; Tel: +226 74 39 04 47

RESUME

Les phtalocyanines de nombreux éléments périodiques ont été préparées et étudiées. Toutefois, il existe très peu de données disponibles sur la phtalocyanine d'or. Ce travail a pour objectif d'apporter une contribution à une meilleure connaissance de la structure électronique de ce complexe. La phtalocyanine d'or (AuPc) et une série de ses complexes portant des ligands axiaux pyridine (Py) et pyridines substituées (R-Py) ont été préparées et étudiées par spectrométries vibrationnelle et optique. Les ligands utilisés sont: 3MePy, 4MePy, 3HOPy, 4HOPy, 3ClPy, 4ClPy, 3COHPy, 4COHPy, 3CNPy, 4CNPy, 3HOCH₂Py et 4HOCH₂CH₂Py. L'analyse des spectres infrarouges a permis de mettre en évidence, dans les spectres des complexes, de nouvelles bandes de vibration attribuables aux ligands axiaux. En spectrométrie optique, une nouvelle bande de transition, absente dans le spectre de AuPc, apparaît autour de 575 nm dans les spectres des complexes. Elle est attribuable à une transition avec transfert de charges du métal central vers le ligand axial (TC M→L_{ax}). Nos résultats confirment que les transitions avec transfert de charges du ligand axial vers le macrocycle (TC L_{ax}→Pc) se font avec l'assistance des orbitales « d » du métal central ; elles ne sont possibles que lorsque la structure électronique de ces dernières le permette.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Phtalocyanine d'or (AuPc), pyridine, pyridines substituées, spectrométrie vibrationnelle, spectrométrie optique.

Preparation and study by vibrational and electronic spectrometries of a series of goldphtalocyanine (AuPc) complexes with pyridine Py and substituted pyridine R-Py axial ligands

ABSTRACT

The phtalocyanines of many periodic elements have been prepared and studied. However, there is very little information on gold phtalocyanine. The aim of this work is to contribute to a better knowledge of the electronic structure of this complex. Gold phtalocyanine (AuPc) and a series of its complexes with pyridine Py and substituted pyridines R-Py axial ligands were prepared and studied by vibrational and optical spectrometry. The ligands used are: 3MePy, 4MePy, 3HOPy, 4HOPy, 3ClPy, 4ClPy, 3COHPy, 4COHPy, 3CNPy, 4CNPy, 3HOCH₂Py and 4HOCH₂CH₂Py. The

analysis of the infrared spectra made it possible to highlight, in the spectra of the complexes, new bands of vibration attributable to the axial ligands. In optical spectrometry, a new transition band, absent in the AuPc spectrum, appears around 575 nm in the spectra of the complexes. It is attributable to a transition with charge transfer from the central metal to the axial ligand (TC $M \rightarrow L_{ax}$). Our results confirm that charge transfer transition from the axial ligand to the macrocycle (TC $L_{ax} \rightarrow Pc$) are done with the assistance of the "d" orbital of the central metal; they are possible only when the electronic structure of the orbital allows it.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Gold phthalocyanine (AuPc), pyridine, substituted pyridines, vibrational spectrometry, optical spectrometry.

INTRODUCTION

Un domaine en pleine expansion en sciences des matériaux est la formation à l'échelle nanométrique, sous forme d'une phase condensée et auto-organisée, d'objets fonctionnels par assemblage de molécules organiques π -conjuguées. Les molécules organiques π -conjuguées présentent une structure favorisant des interactions intra et/ou intermoléculaires et un caractère de semi-conducteur à faible gap. Elles possèdent également des propriétés optoélectroniques intéressantes que l'on peut moduler en agissant sur des groupements périphériques ou, dans le cas des complexes de coordination, en changeant l'atome métallique à leur centre (Forrest, 2004; Barth et al., 2005). D'où l'intérêt grandissant que suscitent les molécules polycycliques telles que les porphyrines et leurs homologues phtalocyanines, notamment leurs complexes de coordination (Figure 1).

Les métallophtalocyanines possèdent des propriétés particulières qui proviennent en grande partie de la forte densité électronique due à un système de dix-huit électrons π délocalisés sur l'ensemble de la molécule. A cette forte densité électronique s'ajoute une remarquable stabilité thermique et chimique. Ces propriétés sont à l'origine de l'utilisation de ces complexes dans la fabrication des peintures et des batteries à lithium, dans la catalyse et en stockage des informations (Rawling et al., 2009; Quintiliani et al., 2005; Armstrong et al., 2000; Sakamoto et al., 2009; Al-Raqa et al., 2008; Gregory, 2000). Ils sont aussi étudiés pour des applications en photovoltaïque, en nanoélectronique, en optoélectronique et en médecine (Pandey, 2000). En outre, les complexes phtalocyanines figurent en bonne place dans la chimie

supramoléculaire dont le développement s'intéresse au stockage de l'information au niveau moléculaire, sa relecture, son transfert et sa transcription au niveau supramoléculaire (Lahmani, 2006).

La phtalocyanine d'or (AuPc) (Figure 1) qui regroupe le macrocycle phtalocyanine et le métal or pourrait avoir des propriétés remarquables (Carrascal et al., 2009). En effet, en plus des propriétés de semi-conducteur organique propres à toute phtalocyanine, la présence de l'or en son centre représente un intérêt supplémentaire du fait des propriétés optique et catalytique du métal. La porphyrine d'or est utilisée comme photo-sensibilisateur dans la thérapie photodynamique du cancer et dans la catalyse; la phtalocyanine d'or étant beaucoup plus stable, ceci peut amener à la proposer comme modèle pour la conception et l'étude de nanomatériaux (Ying et al., 2005; Wieder et al., 2006). Toutefois, il existe très peu de données dans la littérature sur la phtalocyanine d'or. Jusqu'au début de ce travail, nous ne disposions que de quelques travaux sur la phtalocyanine d'or (MacCragh et al., 1965; Ouemega et al., 2011; Edwin et al., 2012; Sanda Bawa et al., 2017; Sanda Bawa et al., 2017). Ce manque d'informations a motivé le présent travail qui a pour objectif principal d'apporter une contribution à une meilleure connaissance de sa structure électronique. Dans cet article, nous présentons et discutons les résultats de la préparation et l'étude par spectrométries vibrationnelle et optique des complexes de la phtalocyanine d'or portant des ligands axiaux pyridine et pyridines substituées. Nos travaux antérieurs sur la phtalocyanine de fer (FePc) et la phtalocyanine d'or nous serviront de références.

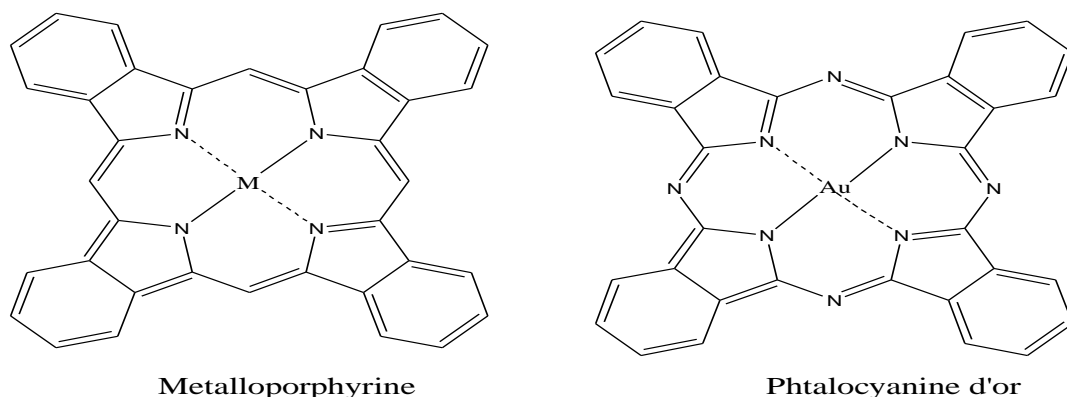


Figure 1: Représentations schématiques d'une métalloporphyrine et de la phtalocyanine d'or.

MATERIELS ET METHODES

Spectrométrie vibrationnelle

Les spectres ont été enregistrés entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} à partir de poudres des échantillons déposées sur le cristal de diamant d'un spectromètre de type Bruker TENSOR 27, ATR diamant.

Spectrométrie d'absorption électronique

Les spectres d'absorption électronique des complexes ont été enregistrés sur un spectrophotomètre SAFAS DOUBLE ENERGIE SYSTEM dans le domaine de 800 à 300 nm. Ils ont été réalisés, à partir de solutions de diméthylformamide (DMF) et de diméthylsulfoxyde (DMSO). Ceux des complexes portant les ligands axiaux l'ont été en présence d'un excès du ligand correspondant.

Préparation des composés

Préparation de la phtalocyanine d'or (AuPc)

Nous avons préparé et purifié AuPc conformément à un précédent travail (Ouemega et al., 2011).

Préparations des complexes de la phtalocyanine d'or portant les ligands pyridine et pyridines substituées

Les complexes portant les ligands pyridine et pyridines substituées sont obtenus après avoir porté au reflux, dans un solvant convenable, 90 mg de AuPc et un excès du ligand correspondant. La durée du chauffage varie avec le ligand. Elle est de trois heures

avec 3MePy, 4MePy, 4HOCH₂CH₂Py et 3HOCH₂Py dans l'acétonitrile ; quinze heures avec 4HOPy, 3HOPy, 3CIPy et 4CIPy dans l'acétonitrile, cinq heures avec 3CHOPy, 4CHOPy, 3CNPy et une semaine avec 4CNPy dans le benzène. Les solides obtenus sont abondamment lavés à l'éthanol puis séchés.

RESULTATS

Spectrométrie d'absorption infrarouge

D'une manière générale, la fixation des ligands pyridine et pyridines substituées sur AuPc se traduit dans les spectres infrarouges par l'apparition de nouvelles bandes de vibration, la disparition et la variation des intensités relatives de certaines d'entre elles. Les fréquences de nouvelles bandes remarquables sont regroupées dans le Tableau 1.

Spectrométrie d'absorption électronique.

Le spectre de AuPc est similaire à ceux déjà publiés dans la littérature (Ouemega et al., 2011) avec deux principales bandes de transition autour de 690 nm (bande Q) et de 350 nm (bande B ou bande de Soret). Le changement de solvant n'entraîne pas de changements notables au niveau des longueurs d'onde et des intensités relatives.

Les longueurs d'onde des maxima d'absorption sont regroupées dans les Tableaux 2 et 3. Les Figures 2 à 7 présentent les spectres des complexes en solution dans le DMF ou le DMSO.

Tableau 1: Nouvelles bandes IR remarquables des complexes pyridine et pyridines substituées de AuPc entre 400 et 2000 cm⁻¹.

AuPc	-	575 F	-	-	758 F		1423 F		1608 f	-	-	-
AuPc(Py)₂		574 F	-	-	756 F		1422 F		1606 f			
AuPc (3COHPy)₂	-	574 F	-	-	756 F	-	1423 F	-	1607 f	1697 f	-	-
AuPc (4COHPy)₂	-	574 F	-	-	755 F	782 F	1421 F	-	1606 f	1703 f	-	-
AuPc (3CIPy)₂	-	574 F			756 F		1422 F	-	1607 f	-	-	-
AuPc (4CIPy)₂	-	574 F			757 m		1420 F	-	1604 f	-	-	-
AuPc (3CNPy)₂	-	574 F	-	-	757 F	-	1423 F	-	1607 f	-	2230 f	-
AuPc (4CNPy)₂	-	574 F	-	-	756 F	-	1422 F	-	1606 f	-	2230 f	-
AuPc (3HOPy)₂	-	574 F			756 F	783 F	1422 F		1606 f	-	-	-
AuPc (4HOPy)₂	544 f	574 F	-	-	756 F	-	1422 F	-	1607 f	-	-	-
AuPc (3MePy)	-	574 F	-	-	756 F	-	1422 F		1606 f	-	-	2965 f
AuPc (4MePy)₂	-	574 F	-	-	756 F	782 F	1421 F	-	1606 f	-	-	2965 f
AuPc (3HOMePy)₂	-	573 m	644 m	698 F	752 F	-	1419 F	1470 f	1605 f	-	-	-

TF : Très Fort ; F : Fort ; f : faible ; tf : très faible ; m : moyen et e : épaulement.

Tableau 2 : Longueurs d'onde des bandes de transition des complexes pyridine et pyridine substituée de AuPc en solution dans le DMF.

	λ_e (nm)	λ_Q (nm)	λ_e (nm)	λ_e (nm)	λ_B (nm)
AuPc	-	688	616	-	351
AuPc(Py) ₂	815	691	615	570	365
AuPc(3COHPy) ₂	-	687	613	577	338
AuPc(4COHPy) ₂	-	687	614	-	-
AuPc(3CNPy) ₂	820	687	613	575	371
AuPc(4CNPy) ₂	-	687	614	580	360
AuPc(3HOCH ₂ Py) ₂	-	689	615	575	356
AuPc(4HOEtPy) ₂	818	690	615	577	356
AuPc(3ClPy) ₂	820	687	614	577	-
AuPc(4ClPy) ₂	-	687	614	-	362
AuPc(3HOPy) ₂	-	687	614	577	354
AuPc(4HOPy) ₂	820	689	614	576	360
AuPc(3CH ₃ Py) ₂	-	691	614	570	370
AuPc(4CH ₃ Py) ₂	820	691	614	575	362

Tableau 3: Longueurs d'onde des bandes de transition des complexes pyridines et pyridine substituée de AuPc en solution dans le DMSO.

	λ_Q (nm)	λ_e (nm)	λ_e (nm)	λ_B (nm)
AuPc	690	619	-	353
AuPc(Py) ₂	692	620	576	365
AuPc(3COHPy) ₂	687	616	-	365
AuPc(4COHPy) ₂	688	616	565	360
AuPc(3CNPy) ₂	689	614	-	367
AuPc(4CNPy) ₂	688	614	560	360

AuPc(3HOCH ₂ Py) ₂	690	620	-	360	-
AuPc(4HOEtPy) ₂	691	619	571	360	-
AuPc(3ClPy) ₂	689	614	567	360	-
AuPc(4ClPy) ₂	688	615	560	360	348
AuPc(3HOPy) ₂	690	617	570	359	-
AuPc(4HOPy) ₂	688	614	570	361	-
AuPc(3CH ₃ Py) ₂	692	618	570	360	-
AuPc(4CH ₃ Py) ₂	692	617	570	360	-

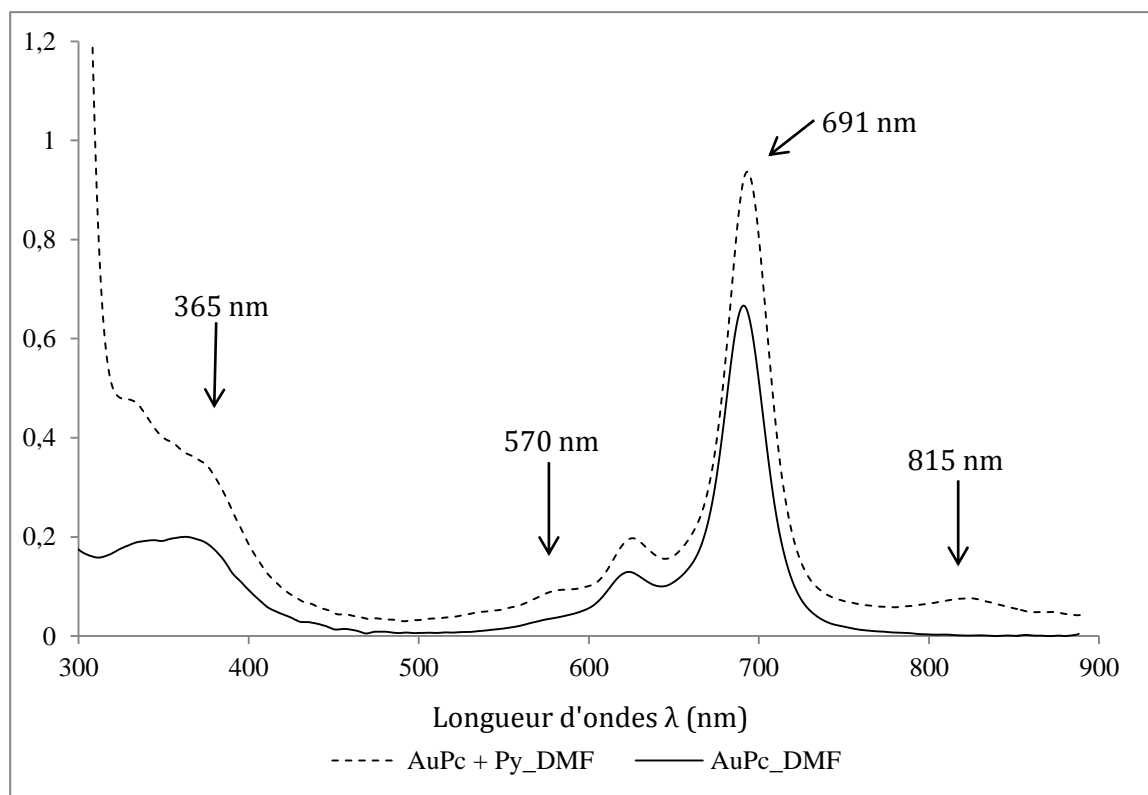


Figure 2: Spectres UV-visible de AuPc et de AuPc(Py)₂ en solution dans le DMF.

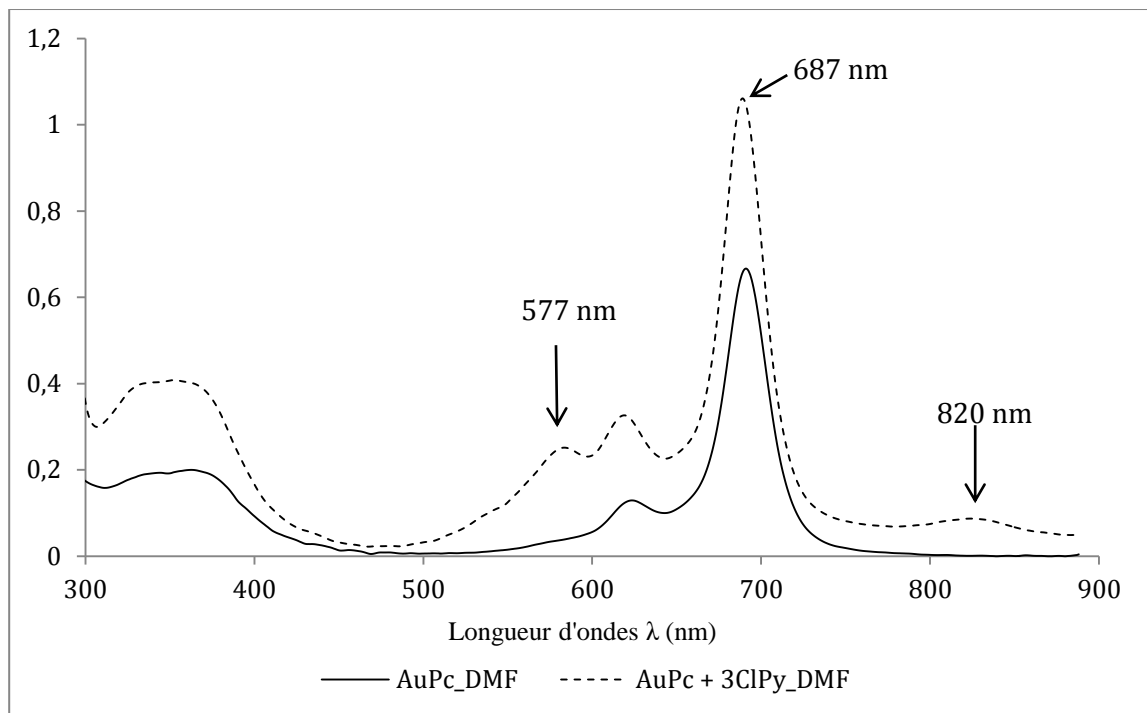


Figure 3 : Spectres UV-visible de AuPc et de AuPc(3ClPy)₂ en solution dans le DMF.

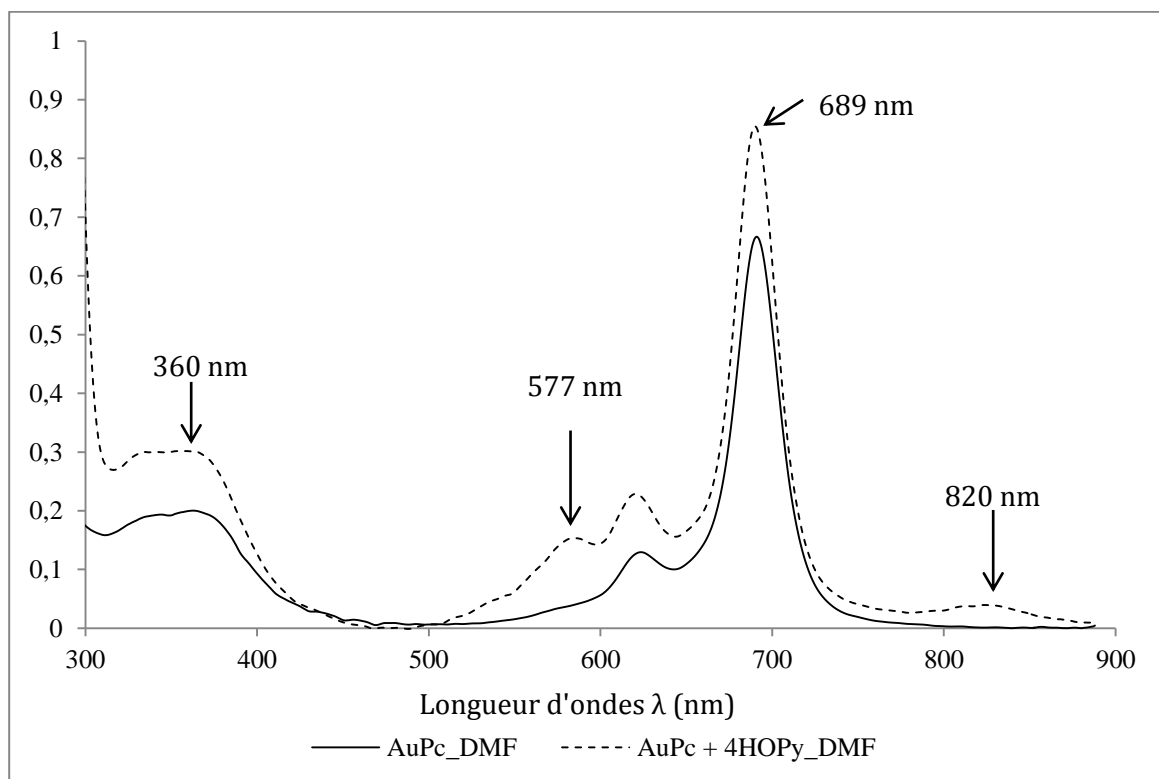


Figure 4 : Spectres UV-visible de AuPc et de AuPc(4HOPy)₂ en solution dans le DMF.

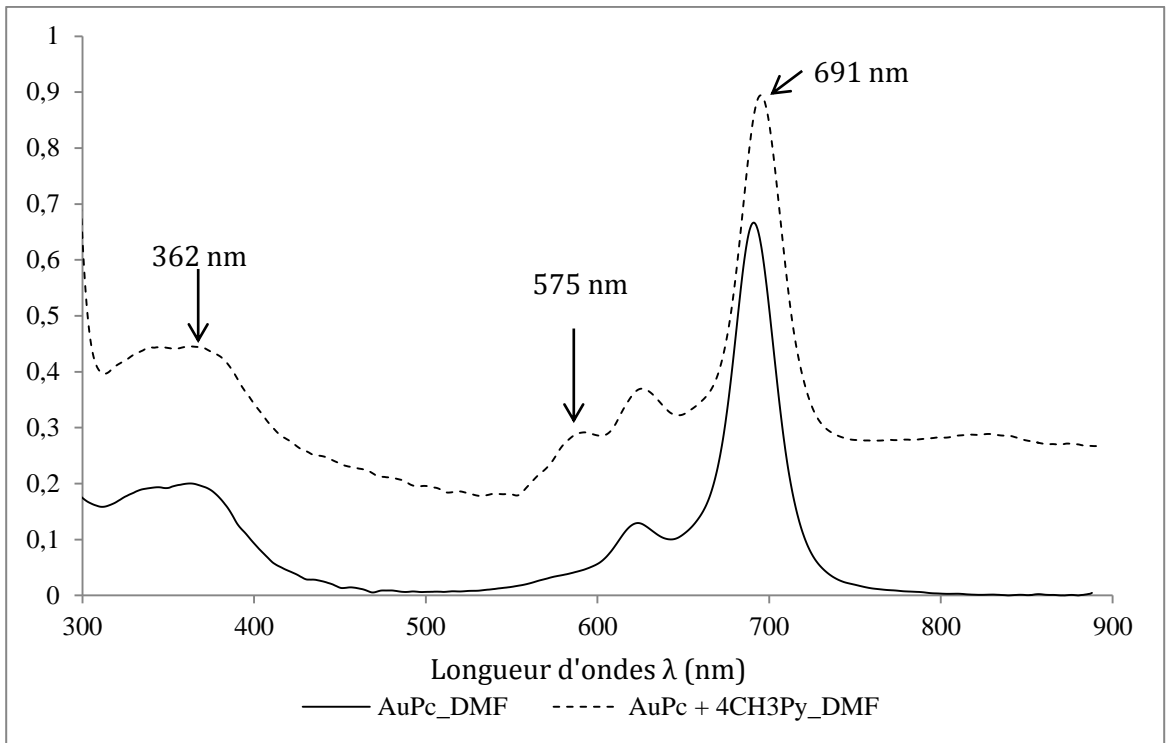


Figure 5 : Spectres UV-visible de AuPc et de AuPc(4CH₃Py)₂ en solution dans le DMF.

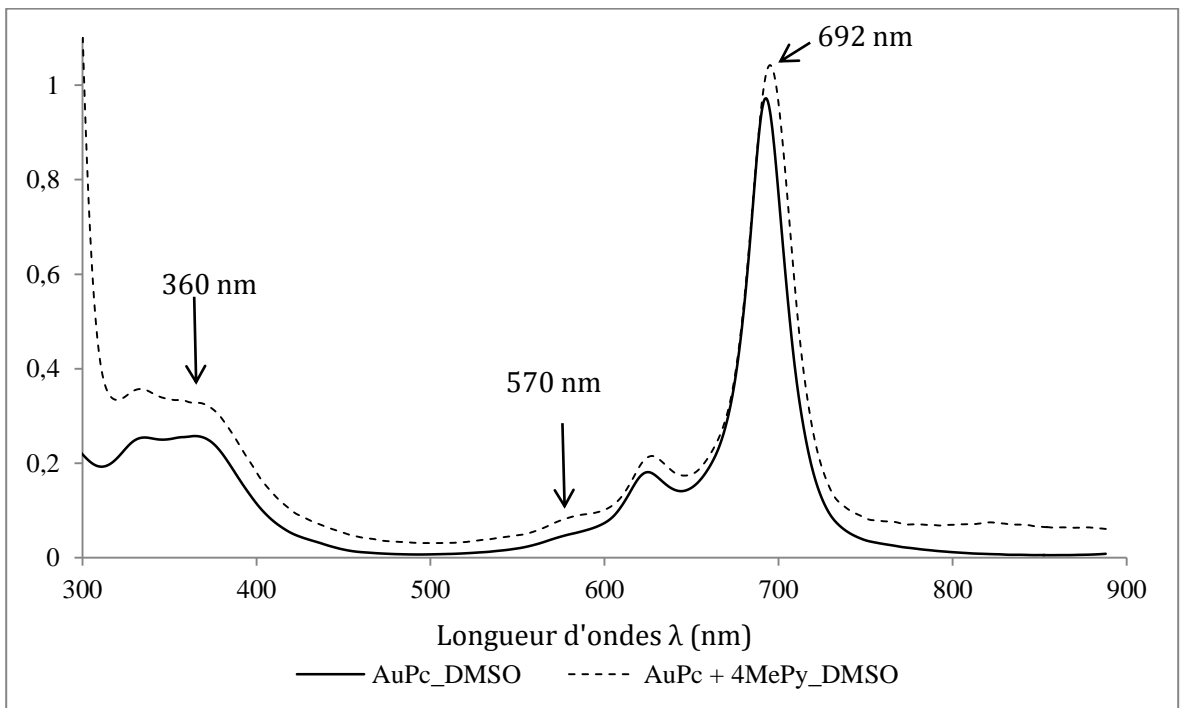


Figure 6 : Spectres UV-visible de AuPc et de AuPc(4CH₃Py)₂ en solution dans le DMSO.

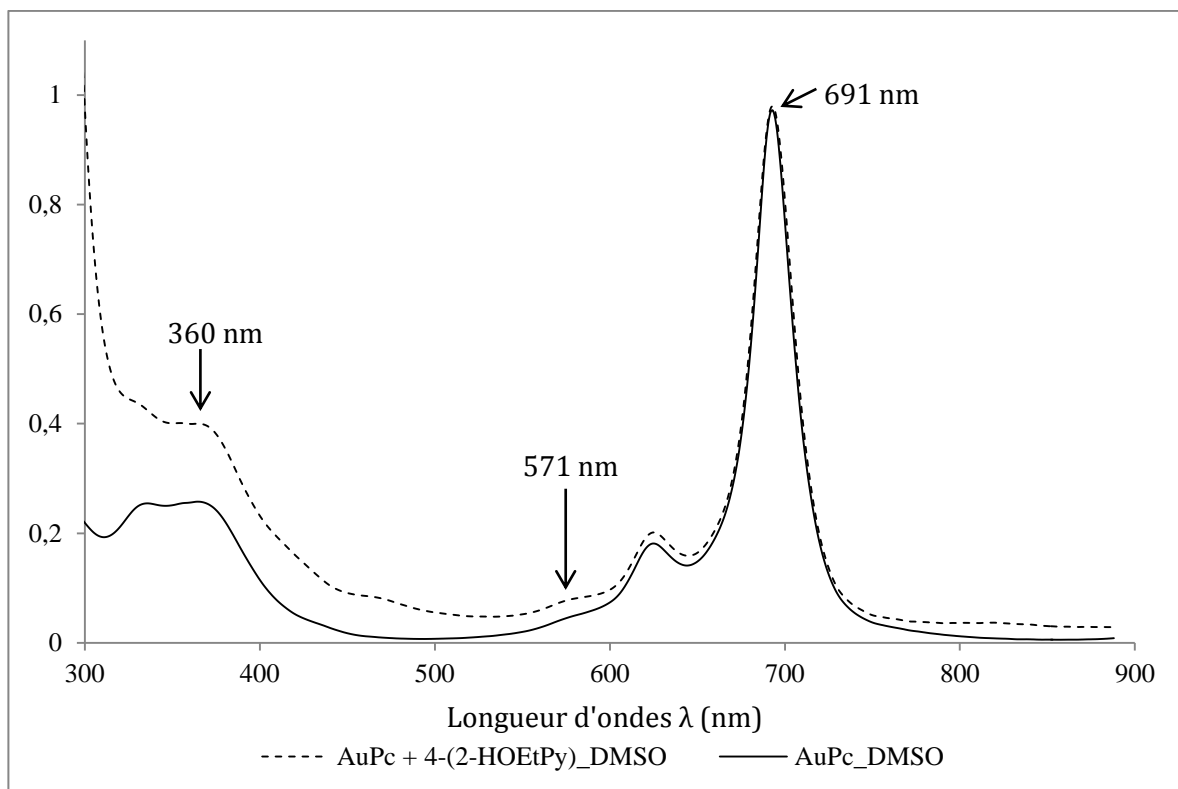


Figure 7 : Spectres UV-visible de AuPc et de AuPc[4-(2-HOEtPy)]₂ en solution dans le DMSO.

DISCUSSION

En spectrométrie d'absorption infrarouge, la bande à 544 cm^{-1} dans le spectre de AuPc portant le ligand 4HOPy (Tableau 1) pourrait être due à la déformation hors du plan de la liaison O-H par analogie avec celle observée dans le spectre de la molécule de phénol (Laure, 2005). Celle à 1470 cm^{-1} dans le complexe portant le ligand 3HOCH₂Py (Tableau 1) proviendrait du cisaillement de l'entité -CH₂- par comparaison avec celle obtenue à 1471 cm^{-1} dans le spectre de l'alcool benzylique (Laure, 2005). Les bandes à 699 cm^{-1} et 644 cm^{-1} dans le spectre du composé de réaction de AuPc avec le ligand 3HOCH₂Py (Tableau 1) peuvent être attribuées aux vibrations C-H de la pyridine. Ces deux bandes de vibration sont présentes à 703 cm^{-1} et 653 cm^{-1} dans le spectre de la pyridine libre (Kabayashi, 2005). Les bandes de faibles intensités à 1697 cm^{-1} et 1703 cm^{-1} , respectivement dans les spectres des

composés de réaction de AuPc avec les ligands 3COHPy et 4COHPy (Tableau 1), peuvent être attribuées aux vibrations de la liaison C=O de la pyridine substituée (Siham, 2012).

L'exploitation du domaine de fréquences $1800\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ nous a permis de mettre en évidence d'autres bandes de vibration des groupements fonctionnels des ligands axiaux (-CN, -CH₃ etc.) que nous avons utilisés. Ainsi, dans les spectres des composés de réaction de AuPc avec 3CNPy et 4CNPy (Tableau 1), on observe une bande de vibration de faible intensité à 2230 cm^{-1} attribuable à $\nu_{(\text{CN})}$. Cette bande a été observée à 2221 cm^{-1} dans les composés de la pyridine (Siham, 2012). Dans la littérature, les bandes de vibration du groupement méthyl de la picoline (CH₃Py) apparaissent entre 2900 et 3000 cm^{-1} (Varsanyi, 1969). Elles sont observées à 2957 cm^{-1} dans le spectre de la 2-picoline (2-CH₃Py) (Arenas, 1997), et

respectivement à 2957 cm^{-1} et à 2924 cm^{-1} dans ceux de la 3-picoline (3- CH_3Py) et de la 4-picoline (4- CH_3Py) (Lopez, 1998). Par analogie, nous attribuons la bande autour de 2965 cm^{-1} dans les spectres des composés de réaction de AuPc avec les ligands 3 CH_3Py et 4 CH_3Py (Tableau 1) aux vibrations du groupement $-\text{CH}_3$. L'observation de nouvelles bandes de vibration attribuables aux ligands axiaux confirme la réaction de AuPc avec les différents ligands utilisés.

Dans l'ensemble, les fréquences des bandes caractéristiques du macrocycle phtalocyanine (Pc) sont peu modifiées en dépit de la fixation des ligands axiaux. Ceci montre la grande stabilité des liaisons C-C, C-N et C=N du macrocycle phtalocyanine. L'invariance des bandes de vibrations associées aux différents mouvements du métal dans le plan du macrocycle phtalocyanine, malgré la substitution en position axiale, permet de voir que la symétrie autour du métal n'est pas modifiée (Sanda, 2018). Ces constats militent en faveur de la formation de complexes hexacoordinés AuPc(RPy)₂.

En spectrométrie d'absorption électronique, les spectres des composés de réaction de AuPc avec les ligands présentent les bandes caractéristiques de AuPc et une nouvelle bande de transition autour de 575 nm dans le DMF (Figures 2-5) et autour de 570 nm dans le DMSO (Figures 6-7).

Des travaux déjà effectués sur des complexes de FePc portant les ligands phosphines et phosphites ont permis de différencier les complexes hexacoordinés des complexes pentacoordinés en spectrométrie optique. Les spectres des complexes pentacoordinés (FePcPX₃) dans le DMSO présentent une bande Q dédoublée (Zanguina, 2002). Ces mêmes caractéristiques spectrales ont été observées avec des composés tels que FePcCl, FePcSR, FePcH₂O et FePcPy (Bayo-Bangoura et al., 2003). Alors que les spectres des complexes hexacoordinés présentent une bande Q non dédoublée (Zanguina, 2002). Les spectres des composés de réaction de AuPc avec les ligands pyridine et pyridines substituées ne présentent pas une bande Q dédoublée. Nous pouvons en déduire que les

composés obtenus sont des complexes hexacoordinés.

Les travaux antérieurs sur les composés hexacoordinés obtenus par réaction de FePc avec les ligands pyridines et pyridines substituées, mettent en évidence deux bandes de transition avec transfert de charges (Ouédrago et al., 1981; Bayo et al., 1992). L'une autour de 415 nm attribuée à un transfert de charges $L_{ax} \rightarrow \text{Pc}$ et l'autre autour de 550 nm attribuée à une transition avec transfert de charges $\text{Fe} \rightarrow L_{ax}$. Nous attribuons donc la nouvelle bande de transition autour de 575 nm dans le DMF et autour de 570 nm dans le DMSO à un transfert de charges $\text{Au} \rightarrow L_{ax}$.

La bande de transition avec transfert de charges $\text{Fe} \rightarrow L_{ax}$ n'avait été observée que lorsque le substituant sur la pyridine était électro-attracteur. Ces résultats avaient permis de conclure que cette transition est liée à la nature du ligand axial et des substituants équatoriaux (Bayo, 1989). Dans le présent travail, elle est présente dans les spectres de tous les composés de réaction de AuPc avec les ligands axiaux ; elle est **alors** indépendante de la nature du ligand axial. Ce nouveau résultat nous permet de dire que si elle peut dépendre de la nature du ligand axial et des substituants équatoriaux, elle est aussi étroitement liée à la nature du métal central.

L'absence d'une seconde bande de transition attribuable à une transition avec transfert de charges $L_{ax} \rightarrow \text{Pc}$ pourrait être liée au fait que l'or ne dispose probablement pas d'orbitale « d » favorisant une telle transition. Ce qui confirme que cette transition se fait avec l'assistance des orbitales « d » du métal central (Ouédrago et al., 1981).

Conclusion

Ce travail a permis de préparer et d'isoler, sous forme solide, pour la première fois, une série de complexes de AuPc portant les ligands axiaux : Py, 3MePy, 4MePy, 3HOPy, 4HOPy, 3CIPy, 4CIPy, 3COHPy, 4COHPy, 3CNPy, 4CNPy, 3HOCH₂Py et 4HOCH₂CH₂Py. La présence, dans les spectres des complexes portant les ligands axiaux, de nouvelles bandes de vibration attribuables aux vibrations des ligands axiaux

confirme que les réactions attendues ont été réalisées. La coordination des différents types de ligands axiaux est confirmée par la spectrométrie UV-visible à travers l'apparition d'une nouvelle bande de transition avec transfert de charges Au → L_{ax}. L'analyse des résultats de spectrométrie optique conduit à une structure hexacoordinée des complexes étudiés : AuPc[RPy]₂.

Nous prévoyons mettre à profit les propriétés de ces complexes pour former des molécules hybrides par conjugaison de ces complexes avec des nanoparticules.

CONFLIT D'INTERETS

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

CONTRIBUTION DES AUTEURS

ASB est le principal investigateur; BO a initié les travaux sur la phtalocyanine d'or dans notre laboratoire; MB-B a dirigé les travaux; KB a supervisé les travaux.

RÉFÉRENCES

- Al-Raqa SY. 2008. The synthesis and photophysical properties of novel, symmetrical, hexadecasubstituted Zn phthalocyanines and related unsymmetrical derivatives. *Dyes and Pigment.*, **77**: 259-265. <https://doi.org/10.1142/S1088424606000077>.
- Arenas JF, Lopez Town I, Otero JC, Marcos JI. 1997. Vibrational spectrum of 2-methylpyridine. *Journal of Molecular Structure.*, **410**(411): 443-446. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(96\)09699-8](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(96)09699-8).
- Armstrong NR. 2000. Phthalocyanines and porphyrins as materials. *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **4**: 414-417. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1409(200006/07)4:4<414::AID-JPP247>3.0.CO;2-B.
- Barth JV, Constanyini G et Kern K. 2005. Engineinig atomic and molécular nanostructure at surfaces. *Nature*, **171**: 437. DOI: 10.1038/nature04166.
- Bayo-Bangoura M, Bayo K, Ouédraogo GV, Mossayan JC, Terzian G, Benlian D. 2003. Préparation et caractérisation par Rayons X, par spectrométries UV-visible, IR, Mössbauer et RPE de composés thiolates de la phtalocyanine de fer. *J. Ouest-Afr. Chem.*, **16**: 77-96.
- Bayo K. 1989. Contribution à l'étude des transferts de charges dans les composés de la ferrophtalocyanine. Thèse de 3^{ème} cycle. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 118 p.
- Bayo K, Saba A, Ouédraogo GV, Terzian G, Benlian D. 1992. Dérivées substituées de la ferrophtalocyanine. *J. Mol. Struct.*, **271**: 19-26. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2860\(92\)80206-W](https://doi.org/10.1016/0022-2860(92)80206-W).
- Carrascal D, Fernandez-Seivane L et Ferrer J. 2009. Oscillating spin density pattern in gold metallocen an phtalocyanine molecules. *Physical review B.*, **80**: 184415. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.80.184415>.
- Edwin YW, Akito M, Daniel BLeznoff. 2012. Gold(II) Phthalocyanine Revisited: Synthesis and Spectroscopic Properties of Gold(III) Phthalocyanine and an Unprecedented Ring-Contracted Phthalocyanine Analogue. *Chem. Eur. J.*, **18**: 12404–12410. DOI: 10.1002/chem.201201701.
- Forrest S. 2004. The path to ubiquitous an low cost organic electronic appiances on plastic. *Nature.*, **911**: 428. doi: 10.1038/nature02498.
- Gregory P. 2000. Industrial applications of phthalocyanines. *J. Porphyrins Phthalocyanines.*, **4**: 368-373. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1409\(200006/07\)4:4<432::AID-JPP254>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1409(200006/07)4:4<432::AID-JPP254>3.0.CO;2-N).
- Kabayashi T, Furokawa F and Uyeda N. 1970. *Spectrochim. Acta.*, **26A**: 1035.
- Lahmani M, Bréchnignac C, Houdy P. 2006. Les Nanosciences. 2. Nanomatériaux et nanochimie : Belin.
- Laure Emmanuel. 2005. *Identification Spectrométrique de Composés Organiques* (traduction de la 5^{ème} édition américaine). DeBoeck Université : Paris; 1998 p.

- Lopez Town I, Woolley MS, Otero JC, Marcos JI. 1998. Vibrational spectrum of 3-methyl and 4-methylpyridine. *Journal of Molecular Structure.*, **470**: 241-246. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(98\)00376-7](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(98)00376-7)Get rights.
- MacCragh A, Koski WS. 1965. The phthalocyanine of gold. *J. Am. Chem. Soc.*, **87**: 2496-2497. DOI: 10.1021/ja01089a038.
- Ouédraogo S. 2011. Etude des interactions intramoléculaires dans les bimétallophthalocyanines de zinc et de cobalt par des méthodes électrochimiques. Thèse de Doctcrat Unique. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 69 p.
- Ouemega B, Bayo-Bangoura M, Bayo K. 2011. Préparation et étude de la phthalocyanine d'or. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, **031**: 42-48. www.soachim.org/files/volume_31/5-B.%20Ouemega%20et%20al.pdf.
- Pandey RK. 2000. Recent advances in photodynamic therapy. *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **4**: 368-373. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1409\(200006/07\)4:4<368::AID-JPP244>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1409(200006/07)4:4<368::AID-JPP244>3.0.CO;2-6).
- Quintiliani M, Garcia-Frutos EM, Gouloumis A, Vásquez P, Ledoux-Rak I, Zyss J, Claessens CG, Torres T. 2005. Synthesis, Characterisation and nonlinear optical properties of two-dimensional octupolar systems based on phthalocyanine compounds. *Eur. J. Org. Chem.*, **18**: 3911-3915. DOI: 10.1021/jo991843f.
- Rawling T, Austin C, Buchholz F, Colbran SB. 2009. Ruthenium phthalocyanine-bipyridyl dyads as sensitizers for dye-sensitized solar cells: Dye coverage versus molecular efficiency. *Inorg. Chem.*, **48**: 3215-3227. DOI: 10.1021/ic802087n.
- Sakamoto K, Ohno-okumura E. 2009. Syntheses and functional properties of phthalocyanines. *Materials*, **2**: 1127-1179. Doi:10.3390/ma2031127.
- Sanda BA, Tarpaga L, Bayo-Bangoura M, Ouédraogo S, Bayo K. 2017. Préparation et études vibrationnelle et électronique de complexes de la phthalocyanine d'or avec des ligands axiaux phosphines et phosphites. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, **43**: 11-16. [http://www.soachim.org/files/volume_43/2%20AS%20Bawa%20et%20al,%20Vo1043,%20\(2017\)%2011-17%20bon.pdf](http://www.soachim.org/files/volume_43/2%20AS%20Bawa%20et%20al,%20Vo1043,%20(2017)%2011-17%20bon.pdf).
- Sanda BA, Bayo-Bangoura M, Ouédraogo S, Tarpaga L, Bayo K. 2017. Préparation et études vibrationnelle et électronique de complexes de la phthalocyanine d'or avec des ligands axiaux thiolates. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, **44**: 43-50. [http://www.soachim.org/files/volume_44/7-AS%20Bawa%20et%20al%20Vol%20044%20\(2017\)%20%2043-50.pdf](http://www.soachim.org/files/volume_44/7-AS%20Bawa%20et%20al%20Vol%20044%20(2017)%20%2043-50.pdf).
- Sanda BA. 2018. Préparation et études par spectrométries vibrationnelle et électronique de complexes de la phthalocyanine d'or avec des ligands axiaux phosphines, phosphites, thiolates, pyridine et dérivés de pyridine. Thèse de Doctcrat Unique. Université de Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, 67 p.
- Siham AbdulRahman Al-Issa. 2012. Synthesis of a New Series of Pyridine and Fused Pyridine Derivatives. *Molecules.*, **17**: 10902-10915. Doi: 10.3390/molecules170910902.
- Varsanyi G. 1969. *Vibrational Spectra of Benzene Derivatives*. Academic Press: New York.
- Wieder ME, Hone DC, Cook MJ, Handsley MM, Gavrilovic J and Russell DA. 2006. *Photochem. Photobiol. Sci.*, **5**: 727. DOI: 10.1039/b602830f.
- Ying Wang, Qing-Yu He, WaiYin Sun R, Chi-Ming Che, and Jen-Fu Chiu. 2005. *Cancer res.*, **65**(24): 11553-11564. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-05-2867 Published December.
- Zanguina A. 2002. IR and UV-visible spectra of iron (ii) phthalocyanine complexes with phosphine or phosphite. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, **16**(1): 73-79. <https://www.ajol.info/index.php/bcse/article/viewFile/20950/3913>.