

Projet de Communication Scientifique
CHIM-F-328

PRINTEMPS DES SCIENCES
2024

*Complexation de Métaux et Application à
l'Imagerie médicale*

KARSTEN Gloria, AGER Alexander, BAYENET Pierre-Antoine, HONHON Nils

Jean-Christophe Leloup – Yannick De Decker – Sana Ouadi



TABLE DES MATIERES

Descriptif du projet	3
Annexe 1 : Préparations et rapports	5
Complexe Fer-Oxalate.....	5
Préparation	5
Mode opératoire	6
Rapport.....	7
Complexes de Cuivre	8
Préparation	8
Mode opératoire	9
Rapport.....	10
Complexe Cobalt-eau (démonstration).....	11
Préparation & mode opératoire	11
Rapport.....	12
BIBLIOGRAPHIE	13
Annexe 2 : Table de référence 1	13
Annexe 3 : Table de référence 2	13



Remerciements

Merci à Sana Ouadi, Jean-Christophe Leloup et Yannick de Decker pour leur encadrement durant tout ce projet. Nous n'oublions évidemment pas toute l'équipe de l'expérimentarium, Dorkas (un vrai rayon de soleil), Jennifer ainsi que Chloé pour nous avoir permis de mener à bien ce travail.

Un tout tout grand merci à Mr Luhmer pour ses nombreuses explications sur l'IRM !



DESCRIPTIF DU PROJET

Les complexes de métaux, et plus particulièrement de terres rares, ont une utilité dans la vie courante non négligeable comme dans les éoliennes, l'imagerie médicale, les téléphones portables, etc. Lors de l'imagerie médicale, le gadolinium peut être utilisé comme agent contrastant, sous forme de complexe de coordination. (1) (2)

Notre projet consiste à illustrer le phénomène de complexation et de le mettre en relation avec l'imagerie par résonance magnétique (IRM). De plus, les élèves devront retrouver les composés présents dans les solutions, en observant la couleur du complexe formé, grâce à l'annexe 2.

Un complexe est une entité moléculaire constituée de deux parties : un ion métallique central, le plus souvent un cation métallique, entouré d'un ou plusieurs ligands. Cet ion central est défini comme un acide de Lewis qui accepte des doublets d'électrons donnés par les ligands, lesquels sont définis comme des bases de Lewis. Le lien chimique formé est dit « lien de coordination » car les électrons de la liaison proviennent exclusivement des ligands, à l'inverse d'un lien covalent issu d'un partage d'électron ou d'un lien ionique, issus d'une interaction électrostatique. (3) La charge globale d'un complexe peut être non nulle : dépendant de l'association de la charge de l'ion central et celle des ligands, elle peut être positive ou négative. (3)

Un complexe peut être caractérisé par une couleur particulière qui dépend de l'énergie des liens formés. Le modèle du champ cristallin explique ce phénomène de coloration. (3)

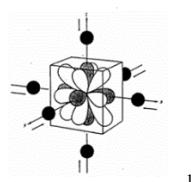


FIGURE 1. REPRÉSENTATION DE L'ARRIVÉE DES LIGANDS SUR UN COMPLEXE DE COORDINATION. (4)

Lors de l'arrivée des ligands (en noir sur la **Figure 1**), les orbitales de l'ion central axées sur ceux-ci (en gris sur la **Figure 1**) subissent plus intensément la charge des ligands que les orbitales qui ne sont pas dans l'axe d'arrivée (en blanc sur la **Figure 1**). De ce fait, les orbitales grises et blanches n'ont pas la même énergie. C'est cette différence d'énergie qui correspond à une couleur caractéristique du complexe. (4)

¹ COMPLEXES.Pdf. <http://sbeccompany.fr/sciences/chimie/cours/L1/COMPLEXES.pdf> (consulté le 2024-02-29).



Ce phénomène de complexation s'applique à l'imagerie médicale. Dans certains cas, cet examen requiert l'utilisation du gadolinium, une terre rare. Ce dernier permet d'améliorer le contraste des images prises par l'IRM.

L'IRM consiste en une image par résonance magnétique nucléaire du proton ^1H des molécules d'eau, abondantes dans le corps humain. Un champ magnétique est envoyé au travers du patient, alignant les protons des molécules d'eau avec ce champ. En parallèle, des ondes radiofréquences sont envoyées par à-coups afin de perturber l'orientation de ces protons. Ces derniers « basculent » et ne s'alignent plus avec le champ magnétique. Ils reviennent à leur état initial en se relaxant. Cette relaxation émet un signal qui est traduit en image. Le signal est d'autant plus intense que le nombre de protons relaxés est grand et que le temps de relaxation est court. En fonction de cette intensité, le contraste sur l'image est plus ou moins marqué. (1)
(5)

Le gadolinium est administré au patient afin de diminuer le temps de relaxation des protons. Comme mentionné plus haut, si ce temps de relaxation diminue, alors le signal s'intensifie et la différence de contraste sera accentuée. (1)

Il est impératif que le gadolinium soit complexé afin de garantir son innocuité. Sous forme ionique, il peut remplacer un autre atome indispensable dans le métabolisme humain, le calcium, du fait de la proximité de leur rayon ionique. (1)

On peut voir sur la **Figure 2** une représentation du complexe $[\text{Gd}(\text{DTPA})]^{2-}$, le plus communément utilisé des complexes de gadolinium. Il est formé de gadolinium et d'acide diéthylène triamine pentaacétique. (2)

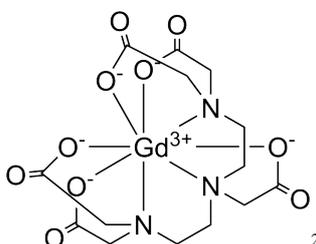


FIGURE 2. IMAGE DU COMPLEXE $[\text{GD}(\text{DTPA})]^{2-}$ UTILISÉ EN IRM (6)

² Gadopentetic acid (Gd-DTPA) | Contrast Agent | MedChemExpress. <https://www.medchemexpress.com/gadopentetic-acid.html> (consulté le 2024-03-04).

**ANNEXE 1 : PRÉPARATIONS ET RAPPORTS**

COMPLEXE FER-OXALATE

PREPARATION

Les complexes de métaux – Mode opératoirea) Matériel et réactifs

Matériel	Réactifs
<ul style="list-style-type: none">○ 2 béchers de 50 mL○ 2 matras rodés de 50 mL○ 2 spatules○ 4 coupelles en plastique○ Tubes à essai○ 2 pipettes pasteur	<ul style="list-style-type: none">○ Eau distillée○ 50 mL d'acide oxalique 1 mol/L○ 50 mL de nitrate de fer (III) nonahydraté 0,1 mol/L

b) Préparation

1. Peser 2,02 g de nitrate de fer III nonahydraté et l'introduire dans un matras de 50 mL. Mettre à trait avec de l'eau distillée. Fermer le matras et homogénéiser la solution. Cette solution constitue la solution 1.
2. Peser 6,3 g d'acide oxalique et l'introduire dans un matras de 50 mL. Mettre à trait avec de l'eau distillée. Fermer le matras et homogénéiser la solution. Cette solution constitue la solution 2.



MODE OPERATOIRE

1. À l'aide d'une pipette pasteur, prélever 2 mL de la solution 1 et la transvaser dans un tube à essai. Observer la couleur de la solution.
2. À l'aide d'une autre pipette pasteur, prélever 2 mL de la solution 2. Observer sa couleur. Transvaser dans le même tube à essai qu'à l'étape 1, la solution 2.
3. Observer le changement de couleur.

Attention : veillez à utiliser les pipettes pasteur appropriées afin de ne pas contaminer les solutions.



RAPPORT

Les complexes de métaux – Rapport

1) Quelle est la couleur des solutions inconnues ?

Solution 1 = Cation métallique – Solution 2 = Ligand

Solution 1 :

Solution 2 :

2) Quelle est la couleur du mélange des deux ?

.....
.....

3) Expliquer le changement de couleur.

.....
.....
.....
.....
.....

4) Grâce au tableau 1 et 2, retrouver les 2 constituants des solutions et le complexe formé.

La solution 1 contient

La solution 2 contient

Le complexe formé est



COMPLEXES DE CUIVRE

PREPARATION

Les complexes de métaux – Mode opératoirea) Matériel et réactifs

Matériel	Réactifs
<ul style="list-style-type: none">○ 3 tubes à essai○ 4 pipettes pasteur○ 1 porte-tube à essai○ 4 matras rodés de 25 mL○ 1 entonnoir○ 4 spatules○ 4 coupelles en plastique	<ul style="list-style-type: none">○ Eau distillée○ 2,5 g de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$○ 5 g de NaCl○ 5 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$○ 1,25 g de CuSO_4

b) Préparation

1. Solution A : Peser 5 g de chlorure de sodium et l'introduire dans un matras de 25 mL. Mettre à trait avec de l'eau distillée. Fermer le matras et homogénéiser la solution.
2. Solution B : Peser 2,5 g de carbonate d'ammonium et l'introduire dans un matras de 25 mL. Mettre à trait avec de l'eau distillée. Fermer le matras et homogénéiser la solution.
3. Solution C : Peser 5 g de pyrosulfite de sodium et l'introduire dans un matras de 25 mL. Mettre à trait avec de l'eau distillée. Fermer le matras et homogénéiser la solution.
4. Peser 1,25 g de sulfate de cuivre et l'introduire dans un matras de 25 mL. Mettre à trait avec de l'eau distillée. Fermer le matras et homogénéiser la solution.



MODE OPERATOIRE

1. A l'aide d'une pipette pasteur, prélever 4 mL de la solution A et la transvaser dans le tube à essai 1.
2. A l'aide d'une pipette pasteur, prélever 4 mL de la solution B et la transvaser dans le tube à essai 2.
3. A l'aide d'une pipette pasteur, prélever 3 mL de la solution A et 1 mL de la solution C et les transvaser dans le tube à essai 3.
4. Ajouter aux trois tubes à essais 1 mL de sulfate de cuivre. Observer la couleur du complexe.

Attention : veillez à utiliser les pipettes pasteur appropriées afin de ne pas contaminer les solutions.



Les Complexes de métaux – Rapport

1) Quelle est la couleur de chaque solution obtenue dans les tubes à essais ?

Solution 1 :

Solution 2 :

Solution 3 :

2) En vous basant sur l'annexe 3, déterminez quels sont les différents ligands impliqués dans les complexes ?

Solution 1 :

Solution 2 :

Solution 3 :

3) Est-ce qu'un métal central peut être impliqué dans des complexes de différentes couleurs ?

.....
.....

4) Si oui, qu'est ce qui est responsable du changement de couleur des complexes d'un même métal ?

.....
.....
.....
.....



COMPLEXE COBALT-EAU (DÉMONSTRATION)

PREPARATION & MODE OPÉRATOIRE

Les Complexes de Métaux – Mode opératoirea) Matériel et réactifs

Matériel	Réactifs
<ul style="list-style-type: none">○ 1 sèche-cheveux○ Papiers filtre○ 1 pince○ 1 compte-gouttes○ 1 bécher de 25 mL○ 1 spatule○ 1 entonnoir○ 1 verre à pied de 20 mL	<ul style="list-style-type: none">○ Eau distillée○ 1,00 g de CoCl_2

b) Préparation

1. Peser 1,00 g de chlorure de cobalt et l'introduire dans le bécher. Ajouter 20 mL d'eau distillée et homogénéiser la solution.
2. A l'aide d'un entonnoir, transférer le contenu du bécher dans le compte-gouttes.
3. Déposer une goutte de la solution aqueuse de chlorure de cobalt au centre d'un papier filtre à l'aide d'un compte-gouttes.
4. À l'aide de la pince et du sèche-cheveux, chauffer précautionneusement le papier filtre et observer le changement de couleur.
5. Laisser refroidir le papier filtre et observer le changement de couleur.



Les Complexes de métaux – Rapport

1) Que se passe-t-il lors du chauffage du papier filtre ?

.....
.....
.....
.....

2) Quel est le changement de couleur observé ?

.....
.....

3) Pourquoi le complexe change-t-il à nouveau de couleur après un certain temps ?

.....
.....
.....
.....

4) Quel est le ligand responsable du changement de la couleur ?

.....
.....



BIBLIOGRAPHIE

- (1) Lasoroski, A. (2013). *Etude de complexes de gadolinium d'intérêt pour l'IRM: simulations ab initio et propriétés magnétiques*. https://theses.hal.science/tel-00876988v2/file/lasoroski_these_versionfinale.pdf (consulté le 2024-02-22)
- (2) de Marco, G., Menuel, C., Vallée, J. N., & Muller, R. N. (s. d.). *Agents de contraste en IRM*. <https://hal.parisnanterre.fr/hal-03882726/document> (consulté le 2024-02-22)
- (3) Ustarroz, J. Introduction à La Chimie de Coordination. https://uv.ulb.ac.be/pluginfile.php/3700135/mod_resource/content/1/2022_2023%20CHIMF207_Thème10_v02_C_vETUD.pdf (consulté le 2024-02-29)
- (4) COMPLEXES.Pdf. <http://sbeccompany.fr/sciences/chimie/cours/L1/COMPLEXES.pdf> (consulté le 2024-02-29).
- (5) *Le Challenge : Les Principes de Base de l'IRM En 15 Mn !*; 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=49tgEcMA7kM> (consulté le 2024-03-02).
- (6) *Gadopentetic acid (Gd-DTPA) / Contrast Agent / MedChemExpress*. <https://www.medchemexpress.com/gadopentetic-acid.html> (consulté le 2024-03-04).

ANNEXE 2 : TABLE DE RÉFÉRENCE 1

Couleur	Solutions aqueuses de sels métalliques
Jaune	Nitrate de fer
Bleu	Sulfate de cuivre
Incolore	Chlorure de sodium
Rose	Chlorure de cobalt
Violet	Permanganate de potassium
Rouge	Nitrate de cobalt

ANNEXE 3 : TABLE DE RÉFÉRENCE 2

Couleur	Ligand	Cation métallique
Bleu clair	Aucun	Cu ²⁺
Bleu foncé	NH ₃	Cu ²⁺
Vert	Cl ⁻	Cu ²⁺
Jaune	S ₂ O ₅ ²⁻ et Cl ⁻	Cu ²⁺
Jaune pâle	Acide éthylène diamine tétra-acétique	Fe ³⁺
Rouge/Violet	Acide sulfosalicylique	Fe ³⁺
Vert citron	Oxalate	Fe ³⁺
Rouge	Diméthylglyoxime	Ni ²⁺