

Printemps Des Sciences 2023 - CHIM-F328

Projet de communication scientifique

Métaux,

mine de diversité

Du feu d'artifice à la boîte de conserve

Auteurs :

GONCALVES Angela

HADJI-MINAGLOU Jonathan

KHATABI Aya

SPELKENS Aaliyah

Encadrante :

BAUDUIN Sophie

Titulaires :

DE DECKER Yannick

LELOUP Jean-Christophe

Remerciements

Un grand Merci à Sophie BAUDUIN pour le merveilleux encadrement

Un grand Merci à Eric SCHMITZ et Dorkas MUSABYIMANA pour leur précieuse aide lors de la préparation des expériences

Introduction

Les métaux sont omniprésents et indispensables dans la vie quotidienne, que ce soit pour les objets de tous les jours (Smartphones, stylos ou les ustensiles de cuisine), les loisirs (par exemple les feux d'artifice) ou dans l'organisme humain (fer et magnésium sous forme cationique). Environ 80% du tableau périodique est composé de métaux. La grande majorité des éléments connus à ce jour sont donc des métaux. Les métaux sont classés dans différentes familles, en fonction de leurs propriétés. Ce sont des éléments chimiques qui peuvent conduire l'électricité et la chaleur. Ils présentent un éclat typique et sont malléables. Un métal est composé d'un ensemble d'atomes, chacun composé d'un noyau central chargé positivement autour duquel gravitent des électrons chargés négativement. Ces électrons sont répartis sur des niveaux énergétiques différents. Les électrons situés sur la dernière couche sont les électrons de valence. Ceux-ci sont libres et capables de se déplacer d'un atome à l'autre.

Les métaux se distinguent les uns des autres par leurs innombrables propriétés, comme notamment leurs propriétés optiques, leur réactivité en milieu acide ou encore leurs conductivités thermique et électrique. Dans le cadre du Printemps Des Sciences 2023, sous le thème « Diversités », nous avons choisi d'illustrer la diversité des métaux à travers ces quatre propriétés. Ci-dessous, nous développons les concepts théoriques associés à chaque expérience.

Propriétés optiques : Expérience 1 – La coloration de flamme

Cette propriété particulière est liée à l'interaction rayonnement-matière. Dans notre expérience, cette interaction est illustrée pour des sels dans lesquels les métaux se trouvent sous forme ionique. Rappelons tout d'abord qu'en stimulant les atomes métalliques par une énergie externe – la flamme dans le cadre de notre expérience –, ceux-ci passent d'un niveau énergétique faible vers un niveau énergétique plus élevé. Ces niveaux d'énergie électroniques sont liés à l'arrangement des électrons autour du noyau. Les atomes peuvent redescendre au niveau d'énergie plus bas, en émettant un photon de longueur d'onde inversement proportionnelle à la différence d'énergie entre les deux niveaux. Cette longueur d'onde est propre à chaque métal et correspond à une couleur dans le visible. Grâce à la relation $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$, avec E étant l'énergie (J), h la constante de Planck ($\frac{m^2 kg}{s}$), ν la fréquence du photon ($\frac{1}{s}$), c la vitesse de la lumière ($\frac{m}{s}$) et λ la longueur d'onde du photon (m), un lien direct entre E et λ est établi (Skoog et al., 2015). Le sodium émet un photon de longueur d'onde équivalente à la lumière jaune, le lithium à la lumière rouge et le cuivre à la lumière verte, par exemple (Elderhorst, 1867).

Réactivité avec les acides : Expérience 2

Au niveau de la réactivité avec les acides, les métaux réagissent de façon très différente. Cette réactivité dépend surtout de leur potentiel d'oxydoréduction, c'est-à-dire la tendance à perdre des électrons. L'oxydation est associée à la perte d'électrons et la réduction au gain. À même concentration de l'acide et température, la tendance à perdre des électrons est élevée, lorsque le potentiel standard dans le sens de la réduction est faible. Cela a pour conséquence l'augmentation de la réactivité du métal avec l'acide. La demi-réaction d'oxydation est donnée par l'expression $Métal \rightleftharpoons Métal^{n+} + n e^{-}$, avec $n = 1, 2 \dots 9$. La demi-réaction de réduction est donnée par $H^{+} + e^{-} \rightleftharpoons \frac{1}{2} H_2$. La réaction bilan équilibrée est donnée par $2Métal (s) + 2nH^{+} (aq) \rightarrow 2Métal^{n+} (aq) + nH_2 (g)$ (Spohrer et al., 2013).

Conductivités électrique et thermique : Expériences 3 et 4

Les conductivités thermiques et électriques élevées des métaux s'expliquent par leur arrangement atomique. Les électrons de valence des métaux peuvent se déplacer librement et rapidement entre les atomes d'un réseau métallique. Plus le mouvement des électrons est facile au sein du métal, plus la conductivité, autant thermique qu'électrique, sera grande. Dans le cas thermique, les électrons peuvent absorber l'énergie apportée par une source de chaleur externe et la transférer aux électrons (et atomes) voisins lors de collisions. Ainsi, la chaleur absorbée initialement se propage au sein du matériau. Ceci explique pourquoi le cuivre et l'aluminium chauffent rapidement, alors que le fer chauffe lentement. Dans le cas électrique, c'est sous l'action d'une différence de potentiel – par un générateur ou une pile – que les électrons vont se déplacer de la borne négative vers la borne positive dans le circuit (Zumdhal & DeCoste, 2015). Le cuivre et l'aluminium conduisent mieux le courant que le fer car le mouvement des électrons au sein de ces métaux est plus facile.

Conclusions

Dans ce projet, quatre propriétés des métaux ont été abordés. En réalité, les métaux se différencient selon bien plus de propriétés, dont entre autres, leur malléabilité, leur réactivité avec l'eau ou d'autres composés, leurs propriétés magnétiques et leur température de fusion. Toutes ces propriétés ne servent pas uniquement à les identifier, mais elles déterminent leur possible utilisation. Cette grande diversité leur confère une grande diversité d'applications – aujourd'hui comme dans le futur.

Annexe 1 (Bibliographie)

Elderhorst, W. (1867). GENERAL ROUTINE OF BLOWPIPE ANALYSIS. In *A Manual of Blow-pipe Analysis : And Determinative Mineralogy*. T.E. Zell.

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, J. F., & Crouch, S. R. (2015). Introduction aux méthodes spectrochimiques. In C. Buess-Herman, J. Dauchot-Weymeers, & T. Doneux (Trad.), *Chimie analytique* (3e éd, p. 655). De Boeck.

Spohrer, C., Breitenbuecher, C., & Brar, L. (2013, octobre 2). *Oxidation-Reduction*

Reactions. Chemistry LibreTexts.

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Electrochemistry/Redox_Chemistry/Oxidation-Reduction_Reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Redox_Chemistry/Oxidation-Reduction_Reactions)

Zumdhal, S. S., & DeCoste, D. J. (2015). Structure and bonding in metals. In *Chemical Principles* (8th edition, p. 669). Cengage Learning.

Annexe 2 (Modes opératoires)

Mode opératoire 1 : La coloration de flamme

Réactifs

- 7,5 g d'acétate de calcium ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) solide
- 25 mL d'eau distillée
- 75 mL d'éthanol absolu ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)
- Différents sels, de préférence non-hydratés. Les sels utilisés lors de la présentation sont :
 - o Chlorure de potassium (KCl) (coloration violet clair)
 - o Chlorure de sodium (NaCl) (coloration jaune intense)
 - o Chlorure de calcium (CaCl_2) (coloration rouge brique)
 - o Chlorure de lithium (LiCl) (coloration rouge foncé)
 - o Chlorure de cuivre (II) CuCl_2 (coloration verte)

NB : Les quantités explicitées ci-dessus suffisent pour faire l'expérience environ 5 fois.

Matériel

- 1x Bécher de 400 mL
- 1x Bécher de 100 mL
- 1x Balance
- 1x Verre à pied de 100 mL
- Agitateur en verre
- Plaque en Pyrex
- Allumettes

Dangers liés aux réactifs

Pour les dangers liés aux réactifs utilisés, veuillez consulter la fiche de sécurité (*Safety data sheet*) fournie par le fabricant des réactifs utilisés.

Pour garantir la sécurité lors de l'expérience

Même si l'expérience est conçue de manière à se dérouler sans danger, il est important de prendre toutes les précautions nécessaires :

- Le port de lunettes de protection et d'une blouse de laboratoire est obligatoire

- Avoir un extincteur CO₂ à proximité
- Utiliser un Plexiglass pour protéger le public
- Délimiter un périmètre de sécurité sur le sol, qui ne devra pas être franchi par le public.
- Enlever tout objet ou substance inflammable à proximité de l'expérience

Manipulation

1) Préparation du gel d'acétate

- Dans le bécher de 100 mL, dissoudre au maximum les 7,5 g d'acétate de calcium dans les 25 mL d'eau distillée. Le but est d'avoir une solution saturée en acétate de calcium. Il s'agit de la solution A.
- Remplir le bécher de 400 mL avec environ 75 mL d'éthanol. Il s'agit de la solution B.
- Verser la solution A lentement sur la solution B, tout en agitant en permanence avec l'agitateur en verre la solution du Bécher contenant l'éthanol. Ne pas verser l'excès en solide de la solution A dans la solution B.
- Le gel est prêt. Il s'agit d'une suspension entre l'acétate de calcium et l'éthanol. Il ressemble à ceci :



NB : Le gel peut être stocké dans un sac de congélation fermé jusqu'au moment de l'expérience.

2) Préparation de l'expérience

- Déposer sur la plaque en Pyrex en ligne droite une boule d'un diamètre d'1-2 cm environ pour chaque sel, espacées de quelques centimètres, légèrement égouttées pour enlever l'excès d'éthanol.
- Aplatir chaque boule pour avoir un disque pas trop épais.

- Saupoudrer chaque disque de gel avec le sel désiré. Choisir l'ordre des sels, tel que la coloration ressemble à l'ordre de couleurs d'un arc-en-ciel.

3) Déroulement de l'expérience

- Après s'être assuré que les mesures de sécurité ont été respectées, allumer une allumette et enflammer un disque après l'autre. Après quelques secondes, les flammes prendront la couleur caractéristique du sel utilisé.
- En fonction de la quantité de gel utilisée, celui-ci brûlera entre 30 s et quelques minutes.
- Pour éteindre le gel, un bécher retourné peut être utilisé (à placer sur le disque).
- À la fin de l'expérience, il suffit de nettoyer la plaque de Pyrex avec un papier humidifié pour enlever le CaCO_3 et le reste de sels qui se seront déposés sur la plaque. Veiller à éliminer les déchets dans une récupération adéquate.

Sources

Ca (California) Snowball. (2019, January 14). Chemistry LibreTexts.

[https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis/UCDemos/CA_\(California\)_Snowball](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis/UCDemos/CA_(California)_Snowball)

Classroom resources / Flame Test (Rainbow Demo). (n.d.). AACT. Retrieved 15 February 2023, from <https://teachchemistry.org/classroom-resources/flame-test-rainbow-demo>

Elderhorst, W. (1867). GENERAL ROUTINE OF BLOWPIPE ANALYSIS. In *A Manual of Blowpipe Analysis : And Determinative Mineralogy*. T.E. Zell.

Flame tests using metal salts. (n.d.). RSC Education. Retrieved 15 February 2023, from <https://edu.rsc.org/resources/flame-tests-using-metal-salts/1875.article>

McKelvy, G. M. (1998). Flame Tests That Are Portable, Storable, and Easy To Use. *Journal of Chemical Education*, 75(1), 55. <https://doi.org/10.1021/ed075p55>

Mode opératoire 2 : La réactivité entre acides et métaux

Pourquoi la boîte de conserve ne sera jamais complètement en aluminium

Réactifs

- Une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 3 M (l'expérience est possible, mais beaucoup moins visuelle en utilisant de l'acide chlorhydrique à 1 M)
- Différents métaux solides. Les métaux utilisés lors de la présentation sont :
 - o Aluminium (Al)
 - o Cuivre (Cu)
 - o Étain (Sn)
 - o Fer (Fe)

Matériel

- 4x tubes à essai larges en pyrex d'une hauteur de 100 mm et d'un diamètre d'environ 1 cm avec un support pour les déposer

Dangers liés aux réactifs

Pour les dangers liés aux réactifs utilisés, veuillez consulter la fiche de sécurité (*Safety data sheet*) fournie par le fabricant des réactifs utilisés.

Pour garantir la sécurité lors de l'expérience

Même si l'expérience est conçue de manière à se dérouler sans danger, il est important de prendre toutes les précautions nécessaires :

- Le port de lunettes de protection et d'une blouse de laboratoire est obligatoire
- Avoir un extincteur CO₂ à proximité (**Attention !** Un feu de magnésium ne s'éteint pas à l'extincteur de CO₂. Pour un feu de magnésium, utiliser une grande quantité d'eau ou couper le flux de dioxygène en étouffant la flamme avec des moyens appropriés)
- Utiliser un Plexiglass pour protéger le public
- En cas d'affluence élevée, délimiter un périmètre de sécurité sur le sol, qui ne devra pas être franchi par le public.
- Enlever tout objet ou substance pouvant causer une flamme à proximité de l'expérience.

Manipulation

- Dans chaque tube, déposer une faible quantité (1 à 2 g) d'un différent métal
- Annoter chaque tube avec sa contenance (p.ex. *Al* pour le tube contenant l'aluminium)
- Ajouter de l'HCl à 3 M jusqu'à maximum mi-hauteur du tube à essai
- Observer les différentes réactivités des métaux. (Bulles de H₂)

Sources

Foundation, I. association with N. (n.d.). *Reactions of metals with acids producing salts*. RSC Education. Retrieved 15 February 2023, from <https://edu.rsc.org/experiments/reactions-of-metals-with-acids-producing-salts/446.article>

Mode opératoire 3 : La conductivité thermique des métaux

Réactifs

Pas de réactifs

Matériel

- Étoile de conductivité avec support
- Bougie
- Allumettes
- Paraffine

Dangers liés aux réactifs

Pas de réactifs

Pour garantir la sécurité lors de l'expérience

Même si l'expérience est conçue de manière à se dérouler sans danger, il est important de prendre toutes les précautions nécessaires :

- Le port de lunettes de protection et d'une blouse de laboratoire est obligatoire
- Enlever tout objet ou substance inflammable à proximité de l'expérience
- Ne pas toucher les barres métalliques. Risque de brûlures.

Manipulation

- Placer l'étoile et le support sur la table
- Placer de la paraffine dans les creusets aux extrémités des barres métalliques.
- Placer la bougie dans le support.
- Allumer la bougie.
- Observer dans quel ordre la paraffine fond dans les creusets.
- Après l'expérience, laisser refroidir et nettoyer le support.

Sources

Ensemble étoile 4 métaux avec support. (n.d.). Retrieved 15 February 2023, from

https://jeulin.com/jeulin_fr/253093.html

Mode opératoire 4 : La conductivité électrique des métaux

Réactifs

Pas de réactifs

Matériel

- Ohmmètre avec une sensibilité au milliohm
- Différents fils de métaux à rapport longueur sur section constant. Par exemple,
 - o Fil de cuivre
 - o Fil de fer

Dangers liés aux réactifs

Pas de réactifs

Pour garantir la sécurité lors de l'expérience

- Aucune vigilance particulière

Manipulation

- Préparer les fils pour qu'ils aient le même rapport longueur (L en m) sur section (S en m^2), la section étant calculée à partir de $\pi \cdot (\text{rayon du fil})^2$.
- À l'aide de l'ohmmètre, mesurer la résistance de chaque fil indépendamment et comparer les valeurs.
- Une valeur élevée signifie une résistance élevée et donc une conductivité faible. La résistance (R en Ohm (Ω)) est directement proportionnelle à la résistivité (ρ en $\frac{\Omega \cdot m^2}{m}$) du fil. La résistivité est l'inverse de la conductivité (σ en $\frac{m}{\Omega \cdot m^2}$). Ainsi, $R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{S}$.

Sources

Pas de source