



Expérimentarium de Chimie de l'ULB

ULB · Campus Plaine · Bâtiment A · Local A2.239

<https://sciences.brussels/xc/> · exchi@ulb.be

EX¹⁵PERIMENTARIUM¹⁸
DE C⁶HIMIE

ULB Faculté
des
Sciences

Projet de communication scientifique CHIM-F-328

Printemps des Sciences 2024

Les terres rares - de l'extraction à l'innovation technologique :

Les terres rares et leur seconde vie



Par : ALLARD Caroline,
BOUFOUSS AFELLAH Meriem,
LEVESQUE Maxime,
NEETENS Magali

Encadrants : LELOUP Jean-Christophe, OUADI Sana
Co-titulaires : DE DECKER Yannick, LELOUP Jean-Christophe



Table des matières

1. Descriptif du projet.....	3
2. Matériel et réactif.....	5
3. Protocole	6
4. Rapport de laboratoire	7
5. Annexe.....	9
6. Bibliographie	10





1. Descriptif du projet

Téléphones, voitures, éoliennes, etc., sont des objets que nous côtoyons tous dans notre vie quotidienne, mais connaissons-nous les éléments chimiques et, en particulier, les terres rares qui se cachent derrière ceux-ci ? Ces éléments, pas si rares que ça, sont d'une grande importance dans de nombreuses technologies et en particulier, à cause de l'absence de matières alternatives. C'est pourquoi, dans le cadre du printemps des sciences, nous nous sommes intéressés de plus près aux techniques d'extraction et de récupération de terres rares dans l'industrie.

Les terres rares sont des minéraux se trouvant principalement dans des gisements terrestres à travers le monde et, en pratique, elles sont d'abord extraites de minerais. Puis, elles sont traitées de manière à produire des solutions concentrées desquelles sont retirées les impuretés et une extraction liquide-liquide permet ensuite d'isoler en partie les différentes terres rares (figure 1). En effet, dû à leurs propriétés similaires, il est compliqué d'isoler totalement les différents éléments présents en solution [1].

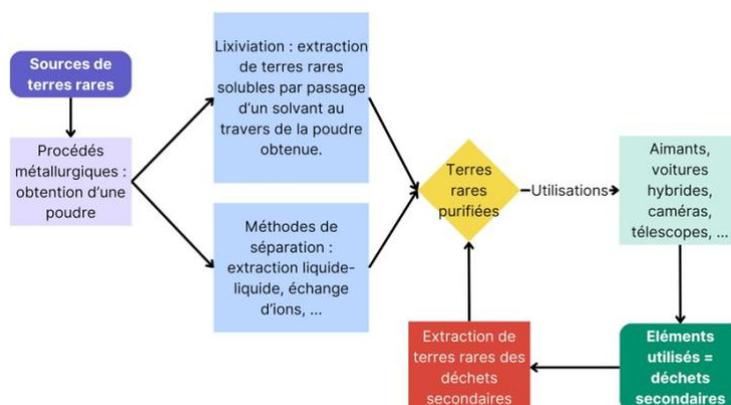


Figure 1 – Cycle de vie des terres rares : de leur extraction à leur recyclage. Figure adaptée du graphical abstract du document : "The recent progress of ion exchange for the separation of rare earths from secondary resources - A review" [1].

Au cours des années, différentes techniques d'extraction ont été utilisées comme l'échange d'anions ou de cations¹ mais, en industrie, l'extraction liquide-liquide est la plus couramment employée, car elle permet de travailler à grande échelle. Ceci est nécessaire, car la demande pour ces matériaux est souvent bien plus élevée que leur disponibilité [4]. L'extraction liquide-liquide est un procédé basé sur les différences de solubilité et d'affinités des terres rares entre deux solvants non-miscibles. Ceci permet alors de les séparer physiquement dans deux solvants

¹ Cette méthode consiste à extraire les ions d'une solution grâce à une résine polymérique sur laquelle sont fixés des anions (acides carboxyliques ou acides contenant du phosphore) ou cations (amines primaires ou quaternaires). Les ions présents en solution seront donc retenus de manière réversible à cause de leur affinité pour la résine [2], [3].



différents. L'augmentation de la demande en terres rares due à l'évolution rapide des nouvelles technologies citées précédemment s'accompagne d'une forte augmentation de leur prix. De plus, de nombreuses études ont été menées ces dernières années au sujet de l'impact environnemental du cycle de vie des terres rares : de l'extraction minière jusqu'à leur usage. Les conséquences de ce cycle sont diverses et variées : pollution des eaux, du sol, production de gaz à effet de serre, etc. [5]. Il est donc d'une importance primordiale de s'intéresser au recyclage de ces matériaux à partir de déchets industriels ou d'objets usagés comme des disques durs, des moteurs de voiture électrique ou encore des téléphones. En effet, même si l'extraction minière de ces éléments est source de pollution, il faut aborder le sujet de manière globale et penser à l'utilisation qui en est faite. Les terres rares sont notamment employées pour produire des aimants permanents se trouvant dans les turbines des éoliennes et dans différents composants de voitures électriques. Ce sont donc des éléments essentiels à la transition énergétique que nous vivons actuellement [6]. La méthode adoptée à plus grande échelle est celle que nous souhaitons illustrer au travers de ce projet : l'extraction par un solvant. Cette technologie est la plus utilisée pour la production commerciale de ces substances, même s'il existe une panoplie d'autres méthodes applicables à plus petite échelle [3]. Pour ce faire, nous réaliserons, au laboratoire, une extraction liquide-liquide avec de l'eau et de l'acétate d'éthyle afin de séparer une solution de bleu de méthylène, qui restera en phase aqueuse à cause d'interactions dipolaires avec l'eau, et de rouge de méthyle, qui a une plus grande affinité pour la phase organique [7]. Un autre intérêt du recyclage est que le contenu en terres rares des produits usagés peut être plus élevé que celui de certaines sources telles que les produits dérivés du charbon. Par ailleurs, pour se servir des minerais, il faut passer par un processus coûteux qui permet de séparer les éléments d'intérêt des autres éléments présents. Les technologies qui renferment des terres rares évoluent à une vitesse considérable et les méthodes de recyclage de ces objets doivent donc suivre cette évolution. La recherche de méthodes efficaces et rentables de récupération de ces éléments indispensables est un sujet largement étudié actuellement. Ce projet nous permet donc, d'offrir aux élèves une nouvelle vision de ces matériaux peu connus du grand public et des objets qu'ils côtoient au quotidien, mais aussi, d'aborder, au travers de la chimie, l'importance du recyclage et l'impact majeur des terres rares sur le monde qui nous entoure.





2. Matériel et réactif*

Matériel	Quantité
Porte tube à essai	1
Tube à essai	6
Ampoule à décanter 50 mL	1
Bouchon en verre (à ampoule)	1
Anneau de support (d= 50 mm)	1
Noix double	1
Entonnoir en verre (d= 50 mm)	1
Verre à pied gradué 10 mL	1
Verre à pied gradué 25 mL	1
Compte - gouttes	5
Flacon 100 mL	1
Erlenmeyer 50 mL	3
Bécher 150 mL	1
Bécher 250 mL	1
Pipette pasteur	1

Réactif	Quantité
Eau distillée	± 50 mL
Rouge de méthyle $3,0 \cdot 10^{-3}$ M	± 20 mL
Bleu de méthylène $1,6 \cdot 10^{-3}$ M	± 20 mL
Solution de HCl 0,1 M	± 20 mL
Solution de NaOH 1 M	± 20 mL
Acétate d'éthyle	± 40 mL
Éthanol	± 40 mL

*Par groupe de deux étudiants





3. Protocole

Observation de l'indicateur coloré à différents pH

1. Versez dans trois tubes à essais trois gouttes de colorant rouge, cinq gouttes de solutions respectivement acide (HCl), neutre (eau distillée seule) et basique (NaOH) ;
2. Ajoutez environ deux centimètres d'eau et observez les différentes couleurs ;
3. Répétez les étapes 1 et 2 pour le colorant bleu.

Extraction liquide-liquide

1. Dans une ampoule à décanter de 50 mL, versez 12 mL d'eau distillée ;
2. Ajoutez 6 gouttes du mélange et deux gouttes de HCl 0,1 mol/L ;
3. Bouchez l'ampoule avec le bouchon et agitez légèrement pour homogénéiser ;
4. Ajoutez 6 mL d'acétate d'éthyle, le solvant d'extraction ;
5. Bouchez l'ampoule et mélangez tout en dégazant, en retournant l'ampoule et enouvrant le robinet en direction de la hotte ;
6. Remplacez l'ampoule sur son support, enlevez le bouchon et attendez la séparation des phases ;
7. Récupérez la phase aqueuse dans un erlenmeyer et laissez la phase organique dans l'ampoule ;
8. Ajoutez 12 mL d'eau distillée dans l'ampoule et 10 gouttes de solution de NaOH 1 mol/L ;
9. Bouchez l'ampoule et mélangez comme indiqué précédemment ;
10. Récupérez la phase aqueuse dans un erlenmeyer et la phase organique dans un autre erlenmeyer ;
11. Dans l'erlenmeyer contenant la phase aqueuse récoltée à l'étape 10, ajoutez goutte à goutte une solution d'HCl 0,1 mol/L jusqu'à l'observation d'un changement de couleur.





4. Rapport de laboratoire

Nom(s) : Date :

Les terres rares et leur seconde vie

Extraction liquide-liquide

1. Les indicateurs colorés

1.1. Que signifie l'abréviation pH ?

1.2. Indiquez les couleurs observées selon le pH du milieu

	Colorant 1	Colorant 2
En milieu acide		
En milieu neutre		
En milieu basique		

1.3. D'après les échelles de pH représentées sur la fiche vous ayant été fournie, identifiez les colorants manipulés.

- Colorant 1 :

- Colorant 2 :





2. Extraction

2.1 . À l'aide d'un schéma illustrez ce que vous observez, lors de l'extraction avec l'acétate d'éthyle :

2.2 . À l'aide d'un nouveau schéma illustrez ce que vous observez, lors de l'extraction avec l'éthanol, réalisée en démonstration par les encadrants :

2.3 . Quel est le meilleur solvant d'extraction ? Justifiez par une hypothèse.

2.4 . Qu'observez-vous après ajout de quelques gouttes d'HCl à la phase aqueuse récoltée en fin de manipulation ? Pourquoi ce résultat d'après vous ?





5. Annexe

Échelles de pH de différentes molécules

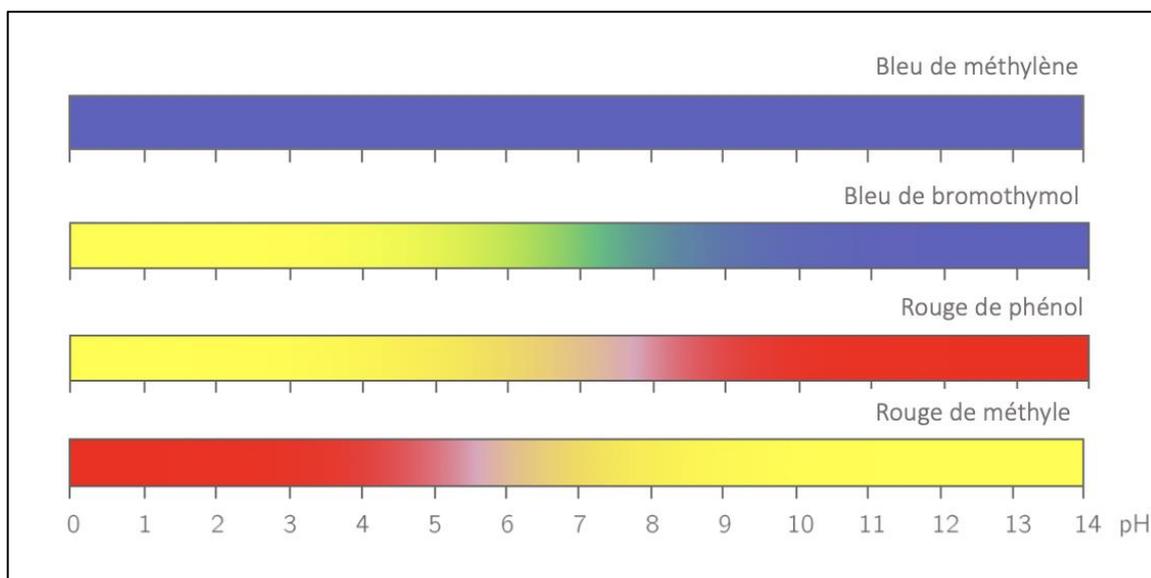


Figure adaptée de « Portail TPAO » par Jean CUMPS [8].



6. Bibliographie

- [1] El Ouardi, Y., Virolainen, S., Massima Mouele, E. S., Laatikainen, M., Repo, E., & Laatikainen, K. (2023). The recent progress of ion exchange for the separation of rare earths from secondary resources – A review. *Hydrometallurgy*, 218, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2023.106047>
- [2] Berk, Z. (2018). Chapter 11—Extraction. In Z. Berk (Éd.), *Food Process Engineering and Technology (Third Edition)* (p. 289310). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00011-7>
- [3] Xie, F., Zhang, T. A., Dreisinger, D., & Doyle, F. (2014). A critical review on solvent extraction of rare earths from aqueous solutions. *Minerals Engineering*, 56, 1028. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.10.021>
- [4] Gupta, C. K., & Krishnamurthy, N. (1992). Extractive metallurgy of rare earths. *International Materials Reviews*. <https://doi.org/10.1179/imr.1992.37.1.197>
- [5] Zapp, P., Schreiber, A., Marx, J., & Kuckshinrichs, W. (2022). Environmental impacts of rare earth production. *MRS Bulletin*, 47(3), 267275. <https://doi.org/10.1557/s43577-022-00286-6>
- [6] Gielen, D., & Lyons, M. (2022), *Critical materials for the energy transition: Rare earth elements*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [7] Dobberpuhl, D., Johnson, L., & Mattson, B. (2022). A Colorful Solvent Extraction Demonstration for Teaching the Concept of “Like Dissolves Like”. *Journal of Chemical Education*, 99(9), 3342-3345. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00579>
- [8] Indicateurs. (s. d.). Consulté 13 mars 2024, à l’adresse <https://www.farm.ucl.ac.be/tpao/instrumentation/titrimetrie/Indicateurs/indicateurs.htm?fbclid=IwAR1jGKh05X-TdSrgqpDbujFpGiyyT8nXWjPn8ZzzWg4cJWrFJABqmWF5pvI>

