



Expérimentarium de Chimie de l'ULB
ULB · Campus Plaine · Bâtiment A · Local A2.239
<https://sciences.brussels/xc/> · exchi@ulb.be

EX¹⁵PERIMENT¹⁸ARIUM
DE C⁶HIMIE

ULB Faculté
des
Sciences

Printemps des Sciences 2023 :

Méthodes de dépollution des sols

Projets de communication scientifique CHIM-F-328

Étudiants : Crespel Marie-Ange

De Soto Romefort Anton

Guezou Pierre

Van Hove Charlotte

Encadrante : Ouadi Sana



Descriptif du projet

Notre projet consiste à décrire certains processus de dépollution des sols. Ces derniers peuvent être contaminés par des facteurs naturels tels que les retombées de cendres liées aux éruptions volcaniques ou aux feux de forêts qui modifient la structure et la composition des sols. Cependant la pollution des sols est majoritairement liée aux activités anthropiques qui regroupent la pollution agricole, les activités industrielles, les transports, la gestion des déchets, les centrales nucléaires et les déversements accidentels de pétrole. Ces sources de pollution ont de nombreuses conséquences sur la biodiversité mais également sur la santé de l'Homme. C'est pourquoi une multitude de méthodes pour décontaminer des milieux pollués ont été élaborées. Dans le cadre de ce projet, nous allons présenter trois méthodes de dépollution.

Le premier mode de dépollution qui nous intéresse est l'oxydation chimique des composés organiques. Cette méthode de dépollution consiste à utiliser un oxydant pour transformer les polluants en plus petites molécules biodégradables ou oxyder complètement les composés organiques en CO₂ et H₂O. Différents oxydants peuvent être utilisés pour cette méthode, tels que le permanganate de potassium, le peroxyde d'hydrogène ou encore l'ozone. Cet agent oxydant va être injecté dans le sol grâce à des sondes ou des puits qui seront situés à différents endroits sur le sol à dépolluer et va agir avec le composé organique polluant. Par exemple, la réaction qui se produit avec le permanganate de potassium est : $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$

Ce procédé, dit classique, laisse des composés organiques intermédiaires dans le sol qui peuvent demeurer toxiques. Il est donc nécessaire d'utiliser des procédés d'oxydation avancés. Ce procédé produit un radical hydroxyle très réactif qui permet une oxydation plus complète du polluant. Le procédé d'oxydation avancé nécessite l'utilisation du réactif de Fenton : $\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \text{OH}^\cdot$

La deuxième méthode développée dans le cadre de ce projet est l'électroremédiation. Cette méthode utilise également les principes d'oxydoréduction, ainsi que l'électromigration des ions. Dans un premier temps, deux électrodes sont plongées dans un sol pollué, un potentiel électrique entre les électrodes va provoquer un courant électrique qui entraînera les ions vers leurs électrodes respectives, c'est l'électrolyse de l'eau. Deux réactions se produisent au niveau des électrodes et permettent aux ions de migrer vers la borne correspondante : à l'anode : $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 4\text{e}^-$ et à la cathode : $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-_{(l)}$

Cette méthode permet de solubiliser les métaux problématiques grâce aux H⁺ produits à l'anode qui vont migrer vers la cathode tout en entraînant les polluants. Pour que cela fonctionne, il faut neutraliser les OH⁻ à la cathode pour que ceux-ci ne neutralisent pas les cations.



La troisième méthode est la phytoremédiation. Celle-ci regroupe l'ensemble des techniques visant à réduire les risques liés à la pollution des sols en utilisant des végétaux. Parmi ces techniques, on trouve la phytoextraction et la phytostabilisation. La phytoextraction vise à sortir les ETM (Éléments-Traces Métalliques) du sol en les transférant dans la biomasse, alors que la phytostabilisation consiste à réduire la mobilité des ETM via différentes méthodes (accumulation, précipitation, dégradation par les racines). Un aspect important de la phytoextraction est sa valorisation économique et la gestion des déchets liés à la biomasse. Il est possible de valoriser la biomasse via les bioénergies, le biochar et le bois (pour les plantes ligneuses). Cependant, il reste des incertitudes liées aux contraintes techniques et financières dues aux ETM contenus dans cette biomasse. Il est également possible d'essayer de valoriser les ETM directement, en pratiquant l'agromine. Cette méthode possède de nombreux avantages tels que le fait d'être une méthode in-situ qui ne demande pas d'excavation de grands volumes de terres ou le fait qu'elle conserve la fertilité des terres et minimise l'emploi de produits chimiques. Elle est néanmoins restreinte à une utilisation sur une faible couche de terre polluée limitée par la longueur des racines.

Cependant, afin d'utiliser la méthode la plus optimale, il faut premièrement identifier la nature du polluant en analysant un échantillon du sol à traiter. La première manipulation que les élèves feront sera donc la caractérisation des métaux dans le sol.

Toutefois, la présence de métaux en faible quantité dans les sols peut être un atout pour les plantes. Celles-ci ont besoin d'éléments nutritifs pour se développer, tels que les oligo-éléments (Cu, Fe, Mn, Zn) en plus d'eau et de lumière. Cela ne suffit pas toujours car certains végétaux ont des besoins spécifiques au niveau de la composition chimique du sol (acidité et oligo-éléments spécifiques) ou de la structure des sols. Il est donc nécessaire d'avoir recours aux techniques d'amendement. Ces techniques sont très utilisées dans l'agriculture et permettent d'ajouter au sol une substance qui permet de modifier la structure du sol ou son acidité. Il est également possible d'y avoir recours dans la vie de tous les jours comme par exemple pour modifier l'apparence des hortensias. La couleur de cette fleur varie en fonction du pH et de la teneur en fer libre du sol. Un produit phytosanitaire contient des oligo-éléments qui modifie la teneur en fer dans le sol. Néanmoins, utiliser ce produit en grande quantité peut contaminer le sol. Le but de la deuxième manipulation est de doser la quantité de fer présent dans le produit « COMPO » afin de déterminer si ce produit présente un quelconque risque de pollution.



Méthodes de dépollution des sols

Informations pour le mode opératoire de caractérisation de métaux dans la terre

Pollution du sol :

1. Couper une bouteille en plastique en deux et garder la partie comportant le goulot.
2. Accrocher une compresse à l'aide d'un élastique au goulot de la bouteille. Cela fera usage de filtre.
3. Mélanger 30 g de terre avec 30 g de pierres ponce et mettre le mélange dans la bouteille.
4. Pour simuler la pollution du sol, mettre une quantité du sel métallique sur la terre et homogénéiser.

Sel métallique	Quantité (g)
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	1,0
LiOH	1,0
$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	2,0

Préparation cinchonine-KI : (à conserver à l'abri de la lumière)

1. Mettre 1 g de cinchonine dans 100 mL d'eau portée à ébullition.
2. Ajouter quelques gouttes d'acide nitrique (HNO_3).
3. Laisser refroidir et ajouter 2 g de iodure de potassium (KI).

Matériel et réactifs :

Pour 2 élèves :

- 1 porte-tube
- 1 tube à essai
- 1 bouteille coupée avec le mélange de terre et de pierres ponce
- Une compresse accrochée avec un élastique au goulot de la bouteille
- 1 pulvérisateur en plastique
- 3 pipettes Pasteur
- 1 pissette d'eau distillée
- 1 solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 1M



- 1 bec bunsen
- Du papier filtre
- 1 solution de cinchonine-KI
- 1 verre à pied de 100 mL
- 2 béchers de 100 mL

Informations pour le mode opératoire du dosage du fer dans un produit phytosanitaire

Matériel et réactifs :

Pour 2 élèves :

- 1 burette et 1 statif
- 1 verre à pied 10 mL
- 1 erlenmeyer de 150 mL
- 1 solution de chlorure d'hydrogène (HCl) 6M
- 1 solution de permanganate de potassium (KMnO₄) 0,005M
- Du produit phytosanitaire «COMPO»



Bibliographie

- Bruxelles Environnement (2018). Oxydation chimique in situ. Code de Bonne Pratique 3. https://environnement.brussels/sites/default/files/cbp_3_2018_fr.pdf
- Elsayed-Ali, A. H., Abdel-Fattah, T., & Elsayed-Ali, H. E. (2011). Laboratory Experiment on Electrokinetic Remediation of Soil. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1126-1129. <https://doi.org/10.1021/ed1008766>
- Flammes colorées—Scienceamusante.net. (s. d.). Consulté 13 février 2023, à l'adresse http://wiki.scienceamusante.net/index.php/Flammes_color%C3%A9es
- Jacobs, A. (2018). Phytoextraction du cadmium et du zinc de sols urbains : optimisation de la culture de *Noccaea caerulescens*. Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences - Ecole Interfacultaire des Bioingénieurs, Bruxelles.
- Les éléments nutritifs des plantes—Jardiner Autrement. (2017, janvier 10). <https://www.jardiner-autrement.fr/elements-nutritifs-plantes/>
- Malika, B. (2016). Oxydation chimiques des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les concentrés issus de la décontamination des sols pollués. <https://espace.inrs.ca/id/eprint/6589/1/T000771.pdf>
- Pollution des sols : Définition, causes et conséquences. (s. d.). Conservation Nature. Consulté 21 février 2023, à l'adresse <https://www.conservation-nature.fr/ecologie/la-pollution-des-sols/>
- Virkutyte, J., Sillanpää, M., & Latostenmaa, P. (2002). Electrokinetic soil remediation—Critical overview. *Science of The Total Environment*, 289(1), 97-121. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01027-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01027-0)
- Wen, D., Fu, R., & Li, Q. (2021). Removal of inorganic contaminants in soil by electrokinetic remediation technologies : A review. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123345. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123345>



Méthodes de dépollution des sols

Caractérisation de métaux dans la terre

Mode opératoire

1. Verser doucement 50 mL d'eau distillée sur toute la terre polluée et récupérer le décantat.
2. Remplir à moitié 2 tubes à essais avec ce décantat et mettre le reste dans le pulvérisateur.
3. Mettre trois gouttes de cinchonine-KI sur un papier filtre à l'aide d'une pipette Pasteur.
4. Ajouter trois gouttes du décantat contenu dans le premier tube à essai sur ce même papier filtre et observer.
5. Prendre le deuxième tube à essai contenant le décantat pour y ajouter quelques gouttes de la solution de NaOH 1M et observer.
6. Agiter le pulvérisateur fermé et pulvériser le contenu sur la flamme du bec bunsen.
Attention, manipulation à réaliser avec un encadrant !

Cinchonine-KI	
Métal	Coloration
Fe ³⁺	Rouge
Cu ²⁺	Brun
Li ⁺	Incolore
Ni ²⁺	Incolore
Bi ³⁺	Orange
Pb ²⁺	Jaune

Précipitation par NaOH	
Métal	Précipité
Fe ³⁺	Rouge
Cu ²⁺	Bleu
Li ⁺	Aucun
Ni ²⁺	Vert
Bi ³⁺	Aucun
Pb ²⁺	Blanc

Flammes colorées	
Métal	Couleur
Fe ³⁺	Orange
Cu ²⁺	Verte
Li ⁺	Rose
Ni ²⁺	Orange
Bi ³⁺	Orange
Pb ²⁺	Mauve





Caractérisation de métaux dans la terre

Rapport

1. Pour chaque étape de la manipulation, complétez les tableaux suivant avec des croix dans la colonne correspondant à la couleur observée.

Cinchonine-KI		
Orange	Jaune	Incolore

Précipitation par NaOH				
Aucun	Rouge	Bleu	Vert	Blanc

Flammes colorées			
Orange	Vert	Rose	Mauve

2. À partir de vos observations, déterminez quel métal était présent dans votre terre.
3. Donnez la meilleure méthode de dépollution à utiliser pour ce polluant parmi celles présentées durant l'introduction.
4. Citez 3 sources de pollution





Méthodes de dépollution des sols

Dosage du fer dans un produit phytosanitaire

Mode opératoire

1. Remplir la burette avec 50 mL de KMnO_4 0,005M. Veiller à retirer l'entonnoir.
2. Peser 0,5g de produit phytosanitaire.
3. À l'aide d'un verre à pied, prélever 10 mL d'eau distillée.
4. Ajouter le produit phytosanitaire dans un erlenmeyer, puis ajouter les 10 mL d'eau.
5. Dans cet erlenmeyer, ajouter 5 mL d'HCl 6M prélevé à l'aide d'une pipette. Bien agiter.
6. Titrer avec la solution de KMnO_4 . Veiller à bien agiter l'erlenmeyer tout au long du titrage.
7. S'arrêter dès que la solution subit un changement de couleur persistant. Noter le volume à équivalence afin de déterminer la teneur en fer du produit phytosanitaire.





Dosage du fer dans un produit phytosanitaire

Rapport

1. Écrivez l'équation redox correspondant au titrage.

2. À quel volume de KMnO_4 avez-vous obtenu le point d'équivalence ?

$$V_{\text{éq}} = \quad \text{ml}$$

3. À partir du volume obtenu, calculez le nombre de moles de KMnO_4 qui ont réagi.

4. Calculer la concentration en fer du produit phytosanitaire.

5. Calculer la teneur en fer (mg/kg) dans le produit phytosanitaire.

