
DESTRUCTION DES TRIHALOMÉTHANES DANS L'EAU POTABLE PAR LES ULTRASONS

Par Clément Pouliot

Activité pédagogique réalisée au Cégep de Sept-Îles

DESTRUCTION DES TRIHALOMÉTHANES DANS L'EAU POTABLE PAR LES ULTRASONS

Par **Clément Pouliot**

Cégep de Sept-Îles

Note : Lorsqu'il s'agit de termes qui renvoient à des personnes dont le sexe n'est pas défini ou qui renvoient aux deux sexes, le générique masculin est utilisé seul, sans aucune discrimination et dans le seul but d'alléger le texte.

L'auteur autorise toute utilisation de ce texte ainsi que les annexes à des fins pédagogiques, pourvu qu'il y ait mention de la source. Cette autorisation se limite à cette oeuvre.

Le respect de ces recommandations encouragera les auteurs à partager leur expérience.

DESTRUCTION DES TRIALOMÉTHANES DANS L'EAU POTABLE PAR LES ULTRASONS

Présentation de l'activité pédagogique

Clientèle visée

Cette activité¹ s'adresse à l'étudiant de Sciences de la nature. Elle peut faire partie du cours de chimie organique comme elle peut aussi être réalisée dans le cours d'intégration ou être l'épreuve synthèse de programme dans les collèges qui ont opté pour ces genres d'activités.

Au Cégep de Sept-Îles, elle remplace la dernière expérience du cours de chimie organique, sert ainsi de pratique à l'épreuve synthèse et rassure l'étudiant quant à cette épreuve.

Brève description de l'activité

Cette activité est multidisciplinaire. En effet, on y retrouve des éléments de chimie, de biologie, de physique, de géologie et d'informatique.

Elle peut se faire en troisième ou quatrième session parce qu'elle fait appel à plusieurs notions tirées de plusieurs cours.

Les étudiants construisent, en équipe de 3, un appareil pouvant mesurer la quantité de trihalométhanes présents dans l'eau potable et testent ensuite une méthode pour éliminer les trihalométhanes de l'eau potable.

Le rôle du professeur consiste à surveiller le déroulement de l'activité, à faire respecter l'échéancier et, bien sûr, à aiguiller les étudiants dans la bonne direction en donnant des indices ou en posant des questions qui amènent les étudiants à réfléchir.

Cette activité innove. En effet, les étudiants ont rarement l'occasion de faire des travaux multidisciplinaires au niveau collégial et à intégrer leurs connaissances pour résoudre un problème complexe. En plus, elle permet aux étudiants de bricoler en classe, ce qu'ils ne font à peu près jamais au niveau collégial. Elle peut aussi amener l'étudiant à s'interroger sur les conséquences sociales de certaines façons d'agir: utilisation de matières réputées cancérogènes, problèmes associés à la qualité de l'eau touchant à sa pollution, son utilisation, sa distribution, ses coûts... Cette activité est originale, car elle traite d'un sujet qui pose bien des problèmes dans des régions du Québec.

Objectifs visés

- Apprendre à résoudre des problèmes complexes.
- Illustrer de façon réaliste le travail d'un scientifique.
- Montrer l'interaction entre la physique, la chimie, la biologie, la géologie et les mathématiques et l'informatique.
- Proposer une solution originale possible aux problèmes liés à l'utilisation du chlore pour décontaminer l'eau et des dérivés halogénés comme solvants.

1. Activité adaptée à partir des articles de Belinda K. Wilmer, Edward Poziomek et Grazyna E. Orzechowska . « Environmental chemistry using ultrasound » *Journal of Chemical Education*, n° 76, 1999, p. 1657. et de Roger C. Baker Jr. « Checking trace in water and sole using an amateur scientist's measurement », *Journal of Chemical Education*, n° 72, 1995, p. 57. avec l'autorisation de Journal of Chemical Education ©, Division de Chemical Education Inc.

Relation entre l'activité et le programme de Sciences de la nature

But général visé

Amener l'étudiant à traiter de situations nouvelles à partir de ses acquis (discipline principale : chimie ou physique)

Pertinence et originalité de l'activité

Cette activité s'inscrit très bien dans le programme *Sciences de la nature*. En effet, elle est multidisciplinaire, elle fait appel à la résolution de vrais problèmes et elle permet à l'étudiant d'intégrer les contenus de différents cours. Voici les cours dans lesquels cette activité peut s'intégrer.

- **Lien avec le cours de chimie organique :**

Dans ce cours, l'étudiant travaille avec les dérivés halogénés (trihalométhanes), la cinétique des réactions chimiques et la spectrophotométrie.

- **Lien avec le cours de physique (203-NYB-05) :**

Dans ce cours, l'étudiant construit des circuits électriques.

- **Lien avec le cours de physique (203-NYC-05) :**

Dans ce cours, l'étudiant apprend les ondes (ultrasons) et l'optique (longueurs d'onde, absorbance, couleur, spectrophotométrie).

- **Lien avec le cours de biologie générale (101-NYA-05) :**

Dans ce cours, l'étudiant travaille avec des écosystèmes (tourbières, lacs) et la qualité de l'eau (chloration, contamination par les bactéries, trihalométhanes).

- **Lien avec le cours de géologie (pour les collèges donnant ce cours) :**

Dans ce cours, l'étudiant travaille avec la ressource qu'est l'eau, les bassins hydrographiques, les tourbières, le transport de particules en solution ou en suspension.

- **Lien avec les cours d'informatique :**

Dans ces cours complémentaires, l'étudiant apprend à tracer des courbes, à les interpréter et à présenter ses documents sur support informatique.

- **Lien avec l'objectif d'intégration :**

L'étudiant doit justement appliquer ses acquis à de nouvelles situations pour atteindre cet objectif.

- **Lien avec l'épreuve synthèse de programme (pour les collèges ayant retenu une expérimentation) :**

Pour ce travail, l'étudiant a justement à appliquer ses connaissances et ses acquis à un problème complexe ressemblant à des situations réelles.

- **Lien avec le profil de sortie :**

Au cégep de Sept-Îles et, probablement aussi dans les autres collèges, il est écrit dans le profil de sortie que l'étudiant, au terme de ses études, doit pouvoir :

- appliquer toutes les étapes de la méthode scientifique ;
- utiliser de façon prudente et adéquate le matériel et l'appareillage des laboratoires de sciences ou d'informatique ;
- rédiger des rapports de laboratoire ;
- résoudre des problèmes avec méthode ;
- intégrer des apprentissages ;
- développer des attitudes personnelles et professionnelles telles que : débrouillardise, confiance en soi, esprit scientifique, travail d'équipe.

Or, c'est justement vers cela que cette activité tend.

Cette activité s'inscrit donc très bien dans n'importe quel cours de formation spécifique de dernière session. Elle s'inscrit aussi très bien dans un cours d'intégration ou comme épreuve synthèse de programme dans certains collèges.

Matériel nécessaire

Matériel fourni au professeur

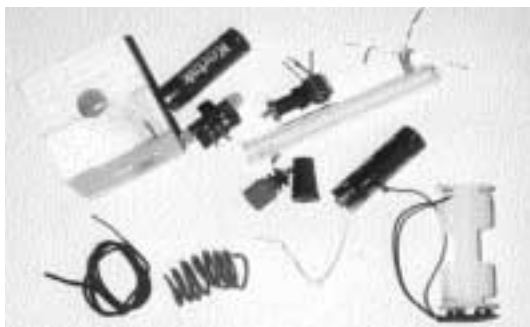
- Guide pédagogique du professeur (ce document)
- Liste de matériel

Document fourni à l'étudiant

Guide de l'étudiant. Ce document inclut un protocole de laboratoire (voir document ci-joint).

Matériel fourni à l'étudiant

- Fil électrique, diode, cellule photoélectrique, résistance variable, résistance, commutateur on-off, support à piles AA, piles AA, multimètre, bain à ultrasons, éprouvette (voir photo ci-dessous).



- Bain à ultrasons servant à nettoyer la vaisselle ou les bijoux, acide chlorhydrique, indicateur acide-base, thermomètre, vaisselle de laboratoire, spectrophotomètre commercial

Matériel fourni par l'étudiant

- L'étudiant doit fournir un boîtier et un support pour l'éprouvette et le circuit électrique (voir photo ci-dessous).



Protocole de laboratoire

Introduction

Les ultrasons sont des ondes non détectables par l'oreille humaine. Leurs fréquences dépassent 16 kHz. Depuis les travaux d'Alfred Loumis dans les années 1920, les ondes ultrasoniques de différentes fréquences ont été utilisées dans des domaines aussi variés que l'imagerie médicale (image du fœtus), l'imagerie géologique (sonar), le nettoyage industriel, la soudure, le mélange de solutions, le nettoyage des bijoux et l'éclatement des globules rouges. Avec la modernisation de l'équipement, l'usage chimique et biologique des ultrasons s'accroît.

La «sonochimie» est habituellement ignorée au niveau secondaire et collégial contrairement aux formes plus traditionnelles de la chimie telles la chimie en solution, la photochimie, la thermochimie et l'électrochimie. Mais l'usage grandissant des ultrasons dans l'industrie, la médecine et la chimie nous amène à nous intéresser aux ultrasons et leurs applications.

Voici une façon simple et efficace de démontrer l'utilité des ultrasons dans les études environnementales. Les hydrocarbures chlorés sont une classe de composés causant des problèmes dans les stations de traitement d'eau où ils sont formés au contact de la matière organique en solution ou en suspension. Ces composés sont utilisés comme solvants dans des procédés industriels.

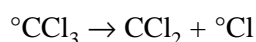
Plus précisément, il se forme des trihalométhanes lorsqu'on traite l'eau avec du chlore pour la rendre sûre pour la consommation. Une assez grande quantité est produite si la source d'eau contient des matières organiques en quantité appréciable. C'est le cas des eaux des régions où poussent beaucoup de tourbières.

Dans l'environnement, les composés chlorés sont résistants à la dégradation et sont difficiles, donc dispendieux, à éliminer de l'eau. Les ultrasons représentent une des solutions possibles à ce problème.

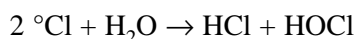
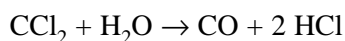
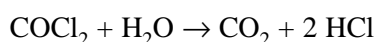
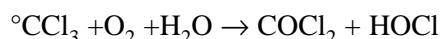
Cinétique

Le tétrachlorure de carbone, un des polluants possibles, mis en solution dans l'eau se dégrade et produit du HCl et du HOCl lorsqu'il est soumis à des ultrasons.

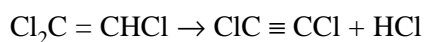
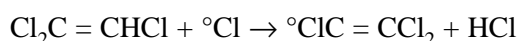
Le tétrachlorure de carbone est dégradé initialement selon le mécanisme radicalaire suivant: (le symbole ° signifie radical libre)



Ensuite, les produits réagissent avec l'environnement aqueux:



Le trichloroéthylène, un autre hydrocarbure chloré, se dégrade aussi selon un mécanisme similaire:



Les produits de dégradation de ces hydrocarbures chlorés cause un abaissement de pH qui est facile à observer si un indicateur acide-base est présent dans la solution.

Pour visionner ce changement de couleur, vous allez fabriquer un «spectrophotomètre».

Appareil à construire

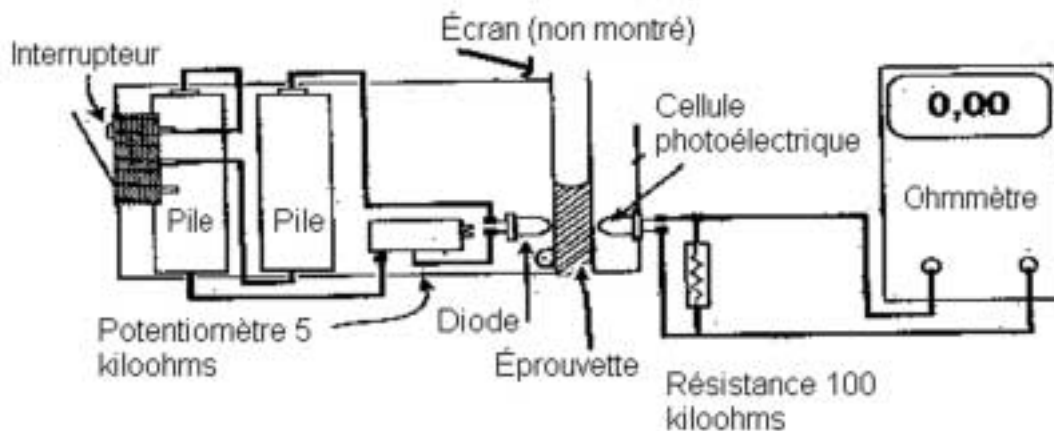
Voici le schéma du «spectrophotomètre» à construire (ci-dessous).

Le laboratoire vous fournira le matériel nécessaire (diode, cellule photoélectrique, piles et support, interrupteur, ohmmètre, éprouvette, résistance, potentiomètre).

Vous devrez suggérer un support pour le montage, construire le montage et faire preuve de patience, d'ingéniosité et de débrouillardise pour le reste.

Vous devrez être en mesure d'expliquer le fonctionnement de votre appareil. Par exemple, vous devez être capable de répondre à ces questions:

- Quelle est l'utilité du potentiomètre?
- Que faut-il changer dans le circuit si la solution à analyser est de couleur différente?
- Quelle est l'utilité de la résistance de 100 kilohms?
- Comment relier réaction, intensité de couleur de la solution et résistance du circuit électrique?
- Testez votre appareil.
- Calibrez votre appareil avec les solutions fournies par le technicien.



Procédure (Attention ! donnée à titre d'exemple seulement, ceci n'est pas un vrai protocole de laboratoire)

- Préparez un litre d'une solution de CCl_4 à 5000 ppm en diluant d'abord le CCl_4 dans 500 mL de méthanol et en complétant ensuite la solution à un litre avec de l'eau.
- Préparez 100 mL d'une solution à 500 ppm à partir de la première solution.
- Préparez de façon similaire des solutions de chloroforme, de dichlorométhane et de trichloroéthylène à 500 ppm.
- Pipettez une quantité connue de la solution à 500 ppm dans une éprouvette vissée (« vial ») et ajoutez-y quelques gouttes de l'indicateur acide-base rouge de méthyle.
- Immergez la bouteille dans le bain à ultrasons et soumettez-la aux vibrations. Mesurez « l'absorbance » avec votre appareil toutes les 5 minutes.

Vous devez prendre toutes les précautions nécessaires pour manipuler des produits toxiques.

Encadrement pédagogique

Organisation de l'activité

Les étudiants reçoivent le document intitulé « Guide de l'étudiant » une semaine à l'avance. Ils en prennent connaissance et ils commencent à se documenter sur le sujet.

À la première séance de laboratoire, ils posent des questions au professeur et au technicien pour être sûrs de bien comprendre le problème et ce qu'ils ont à faire. Ils réservent ensuite du temps au laboratoire pour construire leur spectrophotomètre et faire leurs essais. Cette façon de faire limite la copie et le plagiat et facilite la gestion du matériel. En plus, les appareils à ultrasons sont en quantité limitée !

Les étudiants sont avertis que le professeur exigera une copie sur support informatique de leur rapport et qu'il utilisera les logiciels EVE et WORDCHECK pour vérifier l'originalité de leur travail (EVE est un logiciel qui permet de comparer

le travail de l'étudiant à ce qui est publié sur Internet (voir <http://canexus.com/eve/index.shtml> pour plus de détails). WORDCHECK est un logiciel qui permet de comparer les travaux d'étudiants entre eux (voir <http://www.wordchecksyste.ms.com/applications.htm> pour plus de détails).

Les étudiants sont aussi avertis qu'ils doivent s'attendre à faire au moins 9 heures au laboratoire.

Voici des exemples de questions à poser à l'étudiant pour le guider :

- Comment vérifier le fonctionnement du « Spectr- H_2O » ?
- Pourquoi ajuster la lumière incidente à environ 75 % de la valeur maximale ?
- Comment s'assurer de la solidité du Spectr- H_2O ?
- Comment et pourquoi vérifier la reproductibilité de la lecture ? (réponse possible : mesures de la même solution un grand nombre de fois)
- Pourquoi et comment vérifier la réponse des différentes couleurs de solutions ?
 - solution verte
 - solution bleue
 - solution jaune
 - solution rouge
- Pourquoi et comment vérifier la réponse en fonction de la concentration ?
 - cas du méthyl rouge neutre
 - cas du méthyl rouge en milieu acide
- Pourquoi comparer des réponses du Spectrophotomètre commercial et du Spectr- H_2O ?
 - repérage de la longueur d'onde du Spectrophotomètre commercial
 - courbe de la réponse du Spectrophotomètre commercial versus la réponse du Spectr- H_2O
- Pourquoi comparer les différents Spectr- H_2O fabriqués ?
 - construction
 - réponse
- Quels sont les problèmes rencontrés ?

- Quelles recommandations faites-vous ?
 - sur l'appareil
 - sur la façon de vérifier si la méthode proposée fonctionne
 - sur la solution proposée pour se débarrasser des THM
- Quelles sont les autres méthodes possibles ?

Déroulement et temps nécessaire pour réaliser l'activité

Temps de préparation nécessaire

Pour le professeur

Le professeur devrait essayer lui-même l'expérience pour se faire une idée réaliste du travail demandé. Il devrait vérifier sur Internet et à la bibliothèque locale s'il est facile de trouver de la documentation sur le sujet. Il devrait vérifier si l'équipement et le matériel sont disponibles au laboratoire. Nous estimons à environ 5 heures le temps nécessaire à une première préparation de cette activité.

Pour l'étudiant

L'étudiant devrait lire et résumer le protocole fourni. Il devrait vérifier sur Internet et à la bibliothèque locale s'il trouve de la documentation sur le sujet. Sinon, il devrait demander de l'aide à son professeur ou au bibliothécaire. Il devrait décider du support sur lequel il fera son circuit et de l'aspect extérieur de son appareil. Nous estimons à environ 1 heure le temps nécessaire à la préparation de cette activité.

Description des étapes du déroulement

Le professeur peut, alternativement, demander à l'étudiant de planifier lui-même le déroulement et de le faire approuver.

1. Distribution et explication de la documentation fournie, formation des équipes, une semaine à l'avance.
2. Première séance de laboratoire (3 heures)
 - Construction du «spectrophotomètre»
 - Vérification de la solidité et du fonctionnement de l'appareil

3. Deuxième séance de laboratoire (3 heures)
 - Vérification de la précision et de l'exactitude de l'appareil
 - Comparaison des différents spectrophotomètres avec un appareil commercial
 - Expérimentation
4. Troisième séance de laboratoire (3 heures)
 - Reprise de l'expérimentation s'il y a lieu
 - Expérimentation supplémentaire (nouvelles variables par exemple)
 - Rédaction du rapport final

Évaluation suggérée pour l'activité

Points alloués

- (5)
 - Appareil
 - Solidité
 - Esthétique
 - Accès facile au potentiomètre, piles et interrupteur
 - Couvercle intégré pour l'éprouvette
 - Ingéniosité
- (5)
 - Travail au labo
 - semaine 1, Construction de l'appareil
 - semaine 2, Test de l'appareil et modifications
 - semaine 3, Expérimentation, plan, planification, protocole, méthode de travail, techniques de laboratoire, dilution, précision
- (10)
 - Vérification du fonctionnement du «Spectre-H₂O» (fonctionnement, précision, exactitude)
 - Ajustement de la lumière incidente à environ 75 % de la valeur maximale
 - Vérification de la reproductibilité de la lecture
 - mesures de la même solution un grand nombre de fois
 - Vérification de la réponse des différentes couleurs de solutions
 - solution verte
 - solution bleue
 - solution jaune
 - solution rouge

- Vérification de la réponse en fonction de la concentration
 - cas du méthyl rouge neutre
 - cas du méthyl rouge en milieu acide
 - Comparaison des réponses du spectrophotomètre commercial et du Spectr-H₂O
 - repérage de la longueur d'onde du spectrophotomètre commercial
 - courbe de la réponse du spectrophotomètre commercial versus la réponse du Spectr-H₂O
 - Comparaisons entre les différents Spectr-H₂O
 - construction
 - réponse
- (15) • Rapport selon les normes habituelles
- Texte sur les trihalométhanes
 - Texte sur la spectrophotométrie
 - Texte sur les applications des ultrasons
 - Problèmes rencontrés
 - Recommandations
 - Conclusion

Médiagraphie

Wilmer Belinda K, Poziomek Edward J, Orzechowska Grazyna E. «Environmental Chemistry Using Ultrasound», *Journal of Chemical Education*, vol 76, n° 12, décembre 1999, page 1657.

Baker Roger C. Jr. «Checking Trace Nitrate in Water and Soil Using an Amateur Scientist's Measurement Guide», *Journal of Chemical Education*, vol 72, n° 1, janvier 1995, pages 57-59.

IUPAC. 1998, Le livre blanc du chlore, (page consultée le 5 mars 2000), [En ligne], adresse URL : <http://www.elf-atochem.fr/f/en.../chlore2.htm>

UNIVERSITÉ DE LYON. 1999, Les chlorofluorocarbones, (page consultée le 5 mars 2000), [En ligne], adresse URL : <http://sir.univ=lyon2.fr/GRIC-COA...CFC.html>

Rapport d'atelier Santé Canada, volume 19, N° 3-1998

<http://www.hcsc.gc.ca/hpd/1cdc/publicat/cdic/cdic193/cd193b-f.html#tab1>

Abstrait Santé Canada-McaC Vol. 19, N°3, 1998 Donald Wigle Chlore Cancer

<http://www.endirect.qc.ca/~francis/abwigle.html>

Chlore Cancer SPC, Extrait Santé Canada- McaC Vol. 19, N° 3, 1998 Donald Wigle

<http://www.cam.org/~uteck/wiglef.html>

Trihalomethanes (THM) in drinking

<http://www.southerndatastream.com/thm/mdex.html>

Gouvernement canadien. *Eau chlorée et effets sur la santé*. (page consultée le 7 avril 2000), [En ligne], adresse URL : http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/dpc/eau_qualite/eau_chloree.htm

Roc Water division. *Question au sujet de la présence de chlore dans l'eau potable*, (page consultée le 7 avril 2000), [En ligne],

adresse URL : <http://www.rmoc.on.ca/water-eau/public/about4.htm>

Semin, David. *Processus «classiques» de formation et de destruction*, (page consultée le 6 avril 2000), [En ligne],

adresse URL : <http://www.cti.ecp.fr/~semind1/tipe/sommaire.html>

Marseguerra, Christophe. *Les ultrasons*. (page consultée le 30 mars 2000), [En ligne],

adresse URL : <http://www.ac-versailles.fr/etabliss/herblay/Son/P6.htm>

Généralités sur les méthodes spectroscopiques, (page consultée le 6 avril 2000), [En ligne],

adresse URL : http://chimie.scola.ac-paris.fr/sit-edechimie/chi_gen/spectro/generalites.htm

