

Puri'Fruit'cation



Etudiants :

**Eva LEOGAL
Arthur RENARD
Nathan GERMAIN**

**Guillaume RENAUD
Faustine ALQUIER
Lucie MICHAUT**

**Enseignant-responsable du projet :
Isabelle DELAROCHE**

Date de remise du rapport : **17/06/2023**

Référence du projet : **STPI/P6/2023 – 32**

Intitulé du projet : ***Pelures de fruits comme adsorbants renouvelables pour éliminer les polluants de l'eau***

Type de projet : ***Expérimental***

Objectifs du projet :

- Tester la capacité des pelures de différents fruits à éliminer certains polluants de l'eau.***
- Découvrir de nouvelles machines d'analyse.***
- Travailler en équipe, développer l'autonomie et l'organisation.***

Mots-clefs du projet : ***Pelures de fruits – Eau – Molécules organiques – Métaux lourds***

TABLE DES MATIERES

1. Remerciements	6
2. Introduction.....	6
2.1. Contexte du travail.....	6
2.2. Objectifs à atteindre pour le projet	7
3. Organisation du travail	7
3.1. Organigramme	7
3.2. Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail.....	8
4. Expériences réalisées et résultats.....	9
4.1. Méthodes d'étude expérimentale.....	9
4.1.1. Préparation des solutions diluées	9
4.1.2. Protocole général des extractions	9
4.1.3. Méthodes instrumentales.....	10
4.1.3.1 Spectroscopie d'absorption UV-visible	10
4.1.3.2 Spectroscopie d'absorption atomique	11
4.1.3.3 Spectroscopie à plasma à couplage inductif (ICP-AES).....	12
4.1.4. Calcul de la capacité d'adsorption et du pourcentage d'élimination	12
4.2. Mises en œuvre des expériences menées.....	13
4.3. Résultats expérimentaux	14
4.3.1. Etude de la cinétique d'extraction des polluants par les écorces	14
4.3.2. Résultats métaux	16
4.3.2.1. Étude de l'influence du type de métal.....	17
4.3.2.2. Étude de l'influence de la nature des écorces	18
4.3.2.3. Étude de l'influence de la concentration en métaux	19
4.4. Régénération des pelures	20
5. Conclusions.....	20
5.1. Conclusions sur le travail réalisé	20
5.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet	20
5.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet	22
6. Bibliographie	24
7. Annexes	25
7.1. Annexes partie : 4.3.1. Étude de la cinétique d'extraction des polluants par les écorces	25
7.2. Annexes partie : 4.3.2. Résultats métaux.....	26

NOTATIONS, ACRONYMES

BM ou MB : Acronyme du Bleu de Méthylène ou Methylene Blue.

Pb : Symbole du Plomb.

Cu : Symbole du Cuivre.

Zn : Symbole du Zinc.

Spectromètre ICP-AES : Signifie spectromètre à plasma à couplage inductif.

AA : Absorption atomique.

1. REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Madame Isabelle DELAROCHE, enseignante référente de ce projet. C'est grâce à son encadrement et ses conseils que nous avons pu mener à bien celui-ci. Son accompagnement lors des nombreuses manipulations, de la rédaction de ce rapport, de la soutenance orale et de l'élaboration du poster a été essentiel. Finalement, nous voudrions la remercier pour tout le temps qu'elle nous a accordé, toutes les réponses à nos questions ainsi que la mise à disposition de nombreux outils très pertinents pour l'organisation de ce projet.

Nous aimerions également remercier le personnel technique de l'INSA pour la préparation des machines et leur aide afin de les utiliser lors de certaines de nos expériences. Et tout particulièrement madame Ferial NECIBI qui a usé de son temps pour nous encadrer lors d'une de nos séances.

Enfin, nous souhaiterions remercier madame Juliette VIEVARD, doctorante dans les laboratoires de l'INSA, dont la thèse porte sur un sujet similaire et qui a su se rendre disponible pour répondre à nos questions et apporter son aide durant notre projet.

2. INTRODUCTION

2.1. Contexte du travail

Aujourd'hui, notre planète abrite 8 milliards d'êtres humains. Ce nombre ne cesse d'augmenter et d'après les estimations, la population mondiale atteindra 10 milliards d'êtres humains d'ici 2050. Bien entendu, cette croissance fulgurante s'accompagne d'une hausse globale de l'exploitation des ressources afin d'assouvir nos besoins. L'eau en fait partie, elle est l'essence même de notre organisme et nous est indispensable pour vivre. A priori, celle-ci ne manque pas sur cette planète puisqu'elle en est recouverte à 72 %, d'où son surnom : la planète bleue. Cependant, toute cette quantité d'eau n'est pas potable, bien au contraire : elle n'a jamais été aussi polluée qu'aujourd'hui. De nos jours, 3 % des décès sont liés à un manque d'eau potable. De plus, d'ici 2025, d'après une enquête selon *Food and Water Watch*, 3,5 milliards d'individus souffriraient d'une pénurie d'eau potable, en partie à cause de sa pollution.

Ainsi, l'eau devient une ressource à protéger, d'autant plus que le réchauffement climatique aggrave cette pénurie d'eau. Alors que faire ? Il est de notre responsabilité en tant qu'individu ainsi que celle des entreprises de réguler cette pollution. Par exemple, à titre préventif, il ne faut pas déverser n'importe quel déchet liquide dans les éviers ou les toilettes, sous risque de contaminer l'eau. Les entreprises quant à elles, doivent cesser de polluer leurs sources d'eau dans leur course au profit. Malheureusement, il serait naïf de croire que tous les individus entreprennent ces actions.

En tant que futurs ingénieurs, nous serons amenés à nous confronter à cette problématique. Aujourd'hui, c'est dans le cadre de ce projet P6 que nous apportons quelques réflexions sur la question. Avez-vous déjà entendu parler de phytoextraction ? La phytoextraction ou phytoremédiation consiste à utiliser des plantes afin de dépolluer l'eau, le sol ou encore l'air. En effet, certaines plantes aquatiques ont la capacité de dépolluer une eau. Magique, n'est-ce pas ? Ainsi, cette méthode apparaît comme une solution d'avenir. C'est pourquoi, durant ce projet, nous nous sommes penchés sur le sujet et avons utilisé des pelures de fruits, plutôt faciles d'accès pour chacun d'entre nous, afin d'entreprendre une élimination des polluants de l'eau.

2.2. Objectifs à atteindre pour le projet

L'objectif de ce projet est simple : tester la capacité de pelures de différents fruits à éliminer certains polluants de l'eau. En effet, ce sujet a déjà été étudié il y a quelques années au sein de départements de chimie à Singapour¹ et aux Etats-Unis², ce sont notamment les conclusions de ces études qui ont établi une ligne directrice à notre projet. Mais, en réalité, il s'étend bien au-delà. Grâce à nos nombreuses expériences, nous tentons de découvrir de nouvelles solutions afin de répondre aux enjeux environnementaux actuels et futurs. Le but de ce projet est également de nous permettre d'améliorer nos compétences expérimentales et analytiques dans le domaine de la chimie ainsi que de découvrir de nouvelles méthodes d'analyse grâce aux différentes machines utilisées, un réel tremplin pour beaucoup d'entre nous souhaitant poursuivre dans le département CFI.

3. ORGANISATION DU TRAVAIL

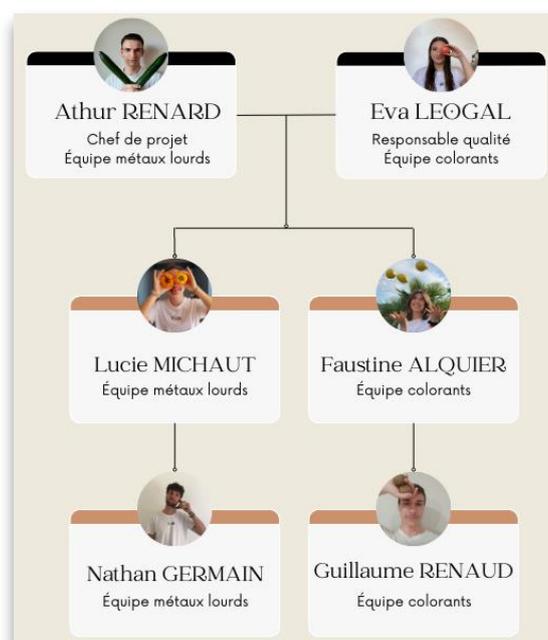
3.1. Organigramme

L'eau est polluée par différents types de polluants, nous avons fait le choix d'en étudier deux grandes familles : les métaux lourds et les molécules organiques. Pour représenter la famille de ces dernières, notre choix s'est porté sur le Bleu de Méthylène, analysable simplement par absorption UV-visible. Puis pour les métaux lourds, ce sont le Cuivre, le Zinc et le Plomb qui ont été analysés. Ainsi, nous avons fait le choix de diviser notre groupe en deux sous-groupes de 3 personnes.

Nous avons, de plus, choisi un chef de projet ainsi qu'une responsable qualité. Le chef de projet ayant pour rôle de coordonner les différentes étapes du projet afin d'assurer au mieux l'avancée de celui-ci et de faire le lien entre Mme DELAROCHE et le reste du groupe.

La responsable qualité s'occupe de la planification et du suivi de l'avancement du projet, de mettre en forme le rapport ainsi que les autres supports et apporte une dernière relecture à chacun d'entre eux.

Le groupe est réparti selon l'organigramme suivant :



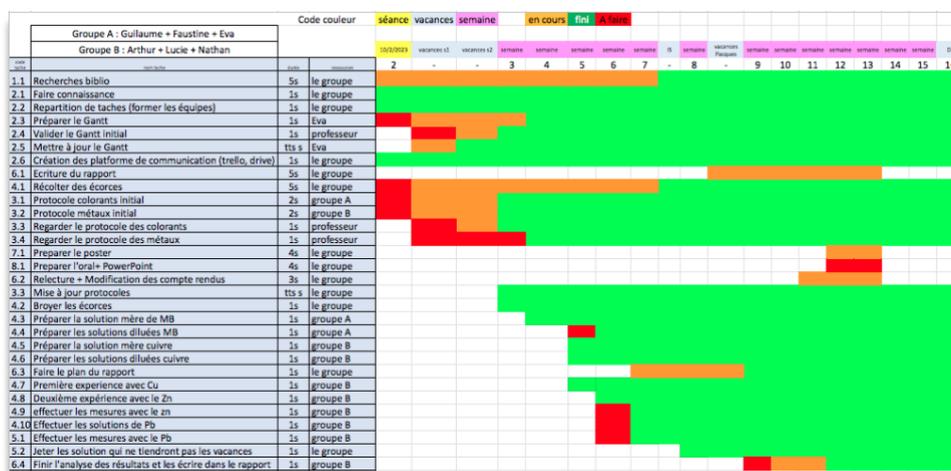
Nous nous retrouvons tous les vendredis après-midi lors du créneau de 1h30 dédié au projet. Cependant, la majorité des manipulations ont été réalisées à d'autres horaires dans la semaine lorsqu'au moins l'un d'entre nous était disponible. Nous travaillons généralement en sous-groupes. Néanmoins, lorsqu'un sous-groupe avait beaucoup d'expériences à réaliser le même jour, nous les faisons tous ensemble.

Notre séance hebdomadaire arrivant après chaque manipulation, nous pouvions exploiter les résultats expérimentaux et organiser les prochaines étapes de notre projet durant ce temps d'échange.

3.2. Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail

En ce qui concerne l'organisation, nous avons utilisé différents outils mis à disposition par Madame DELAROCHE tel qu'un diagramme de Gantt et une application nommée Trello.

Le Gantt est un diagramme représentant l'avancée du travail de façon organisée, dans le temps, grâce à un code couleur. Il nous a permis de prévoir sur le long terme ce que nous devons faire, à quel moment et pendant combien de temps. C'est un outil très visuel qui nous a beaucoup aidé à ne pas nous faire submerger par le travail.



Nous avons utilisé l'application Trello pour toutes les tâches à effectuer, en les attribuant sur des plus ou moins courtes durées. C'est un système de carte qu'il faut déplacer dans la colonne « à faire, en cours ou terminée ». Le Trello nous servait aussi à rassembler tous les documents importants tels que de la bibliographie, le lien des Google docs ou encore des tableaux de résultats expérimentaux sur la même plateforme. Cela nous permettait également de communiquer entre nous, de manière très rapide.



4. EXPERIENCES REALISEES ET RESULTATS

4.1. Méthodes d'étude expérimentale

4.1.1. Préparation des solutions diluées

Pour établir la capacité d'absorption des pelures, il a été nécessaire de préparer des solutions contenant des concentrations connues de polluants. C'est pourquoi pour la partie sur les métaux le groupe a préparé des solutions de Zinc, Cuivre et Plomb. Et pour la partie sur les colorants, l'espèce qui a été analysée est le Bleu de Méthylène.

Pour la partie sur les métaux comme énoncé précédemment, l'équipe a poussé l'étude à trois cas différents pour lesquels celle-ci a effectué exactement le même protocole. La seule variable créant une divergence est la machine utilisée pour analyser les solutions. Le groupe a procédé aux expériences sur trois pelures différentes, la banane, l'avocat et le citron dans le but de comparer leur efficacité.

Pour la partie sur les colorants, le choix a été fait de n'utiliser qu'une seule sorte d'écorce, l'avocat, et d'effectuer une étude cinétique sur une solution de Bleu de Méthylène à une concentration de 20 mg/L.

Dans la majorité des cas, des solutions mères de concentration 1000 mg/L étaient disponibles car stockées dans le laboratoire de chimie. Cependant, pour le Cuivre et le Bleu de Méthylène, il a fallu les préparer. Pour le MB, une masse proche de 50,1 mg du solide a été utilisée afin d'obtenir une solution concentrée à 200 mg/L dans une fiole jaugée de 250 mL. Pour le Cuivre, c'est une masse proche de 0,393 g de CuSO₄ solide qui a été utilisée pour obtenir une solution concentrée à 1000 mg/L dans une fiole jaugée de 100 mL. De plus, il était nécessaire de noter sur la verrerie, le type de solution, la concentration, puis P6-32, la référence du groupe de projet. Voici le tableau récapitulant les différentes informations nécessaires pour la préparation des solutions diluées.

Cu/Zn/Pb	Diluées				
Concentration (mg/L)	50	5	4	2	1
Solution mère (mg/L)	1000	50	50	50	50
Facteur de dilution	20	10	12,5	25	50
Pipette jaugée (mL)	25	20	4	4	5
Fiole jaugée (mL)	500	200	50	100	250
Bleu de Méthylène	Diluées				
Concentration (mg/L)	100	50	25	20	5
Solution mère (mg/L)	200	100	50	200	50
Facteur de dilution	2	2	2	10	10
Pipette jaugée (mL)	25	25	25	50	5
Fiole jaugée (mL)	50	50	50	500	50

Les solutions diluées décrites dans le tableau ci-dessus ont été préparées pour réaliser les tests d'extraction et les courbes d'étalonnage.

4.1.2. Protocole général des extractions

Maintenant que toutes les solutions aux concentrations en polluant voulues sont faites, la prochaine étape consiste à extraire le polluant en question.

Au préalable, il a fallu préparer les écorces qui vont, à terme, servir pour filtrer les solutions. Voici le protocole permettant d'obtenir les écorces dans la forme voulue¹ :

- Faire bouillir les écorces pendant environ 30 minutes.
- Rincer les pelures à l'eau courante tiède pour éliminer les composants solubles de la surface.
- Sécher et placer les écorces sur un couvercle en verre de montre et les mettre dans un four à 100°C pendant la nuit.
- Enlever les pelures du four et les placer dans un endroit où elles ne prendront pas l'humidité.
- Avant de commencer l'expérimentation, broyer les pelures séchées à l'aide d'un mortier et d'un pilon.

Maintenant que les pelures sont prêtes à l'usage, le protocole mis au point pour l'extraction est le suivant¹ :

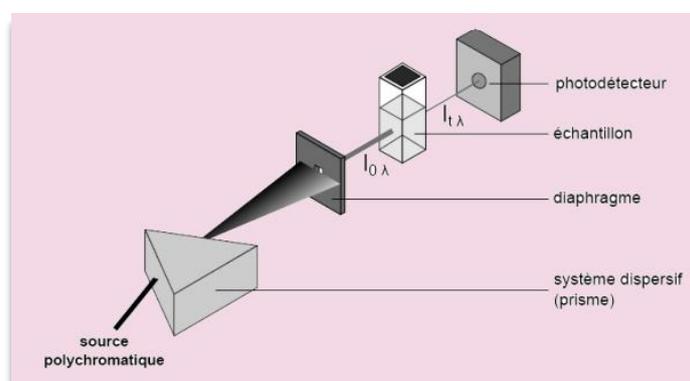
- Peser précisément une masse de 500mg d'écorce.
- Placer cette masse d'écorce dans un erlenmeyer de 100mL.
- Verser, dans ce même erlenmeyer, à l'aide d'une pipette jaugée de 50mL, une solution à une concentration de 1, 5 ou 50 mg/L (trois erlenmeyers pour chaque concentration) pour les métaux et de 20 mg/L pour les colorants.
- Agiter à vitesse lente pendant le temps déterminé.
- Prélever la solution avec une seringue en plastique.
- Filtrer environ 10 mL de solution avec un filtre au nylon.
- Diluer, si besoin, de façon à ce que le signal soit dans la gamme d'étalonnage.
- Stocker les solutions au frais si elles ne peuvent pas être analysées directement.

Les solutions peuvent maintenant être analysées par la machine adaptée pour chaque élément.

4.1.3. Méthodes instrumentales

4.1.3.1 Spectroscopie d'absorption UV-visible

La spectroscopie d'absorption UV-Visible est une méthode instrumentale utilisée afin d'évaluer quantitativement la concentration d'espèces au sein d'un échantillon absorbant dans ce domaine spectral. Cette méthode d'analyse a été utilisée afin de réaliser une étude cinétique de l'adsorption du Bleu de Méthylène par les pelures d'avocats.



Une source polychromatique (émettant différentes longueurs d'ondes dans l'UV ou le visible) est placée devant un prisme. Ce système dispersif va décomposer le rayonnement polychromatique émis par la source. Pour obtenir un rayonnement incident de bonne qualité monochromatique, la lumière est envoyée ensuite à travers un diaphragme, une simple fente fine.

Le rayonnement obtenu d'intensité $I_{0,\lambda}$ traverse alors la cuve contenant la solution à analyser. En sortie de l'échantillon, le faisceau lumineux passe enfin par un photo détecteur mesurant l'intensité du rayonnement transmis après traversée de la solution échantillon, notée $I_{t,\lambda}$.

Grâce à cette valeur d'intensité $I_{t,\lambda}$ fournie par l'appareil, il est ensuite possible de déterminer l'absorbance A de la solution définie par $A = -\log\left(\frac{I_{t,\lambda}}{I_{0,\lambda}}\right)$ qui est proportionnelle à la concentration molaire C de la solution à analyser.

La relation est donnée grâce à la loi de Beer-Lambert : pour une solution contenant une unique solution absorbante, transparente et peu concentrée, $A = \epsilon.l.C$, avec l la largeur de la cuve contenant l'échantillon (donc la longueur du chemin optique), C la concentration molaire de l'échantillon et ϵ le coefficient d'extinction molaire (exprimé usuellement en $\text{mol}^{-1}.\text{L}.\text{cm}^{-1}$ si l est exprimée en cm).

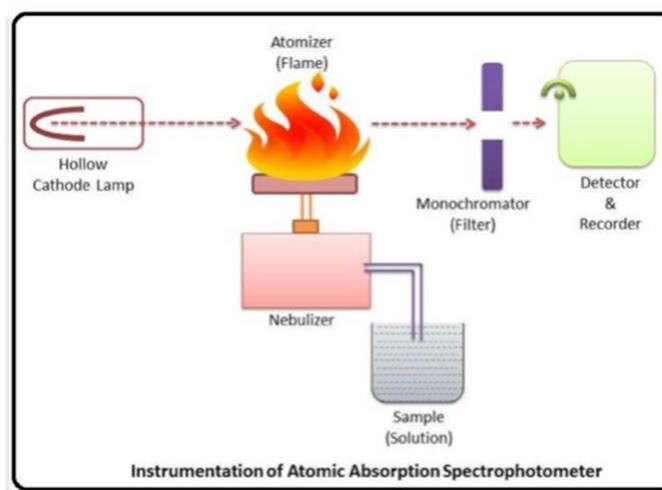
Le spectrophotomètre utilisé ici est le PRIM Light de SECOMAM avec des cuves de trajet optique de 10mm.

4.1.3.2 Spectroscopie d'absorption atomique

La spectroscopie d'absorption atomique de flamme est une technique d'analyse utilisée pour déterminer la concentration des éléments métalliques et des métalloïdes dans un échantillon de solution. Cette méthode d'analyse a été utilisée afin d'analyser le Cuivre.

Le principe est simple, la solution à analyser est pompée à débit constant par un nébuliseur pneumatique et transformée en un aérosol qui est introduit dans une chambre de nébulisation. Puis, cet aérosol arrive dans une flamme air/acétylène. Si la température de la flamme est suffisante, l'analyte sera atomisé en phase gaz.

Une lampe à cathode creuse de l'élément à analyser est nécessaire pour fournir l'intensité de la lumière incidente I_0 . En effet, la longueur d'onde absorbée est spécifique à chaque atome. Ainsi, lorsque l'échantillon contient l'élément dosé, les atomes gazeux du métal formés dans la flamme absorbent la lumière incidente suivant la loi de Beer-Lambert énoncée précédemment, ce qui permet l'identification des atomes présents dans l'échantillon. Le spectromètre utilisé ici est le ICE 3000 Séries.



4.1.3.3 Spectroscopie à plasma à couplage inductif (ICP-AES)

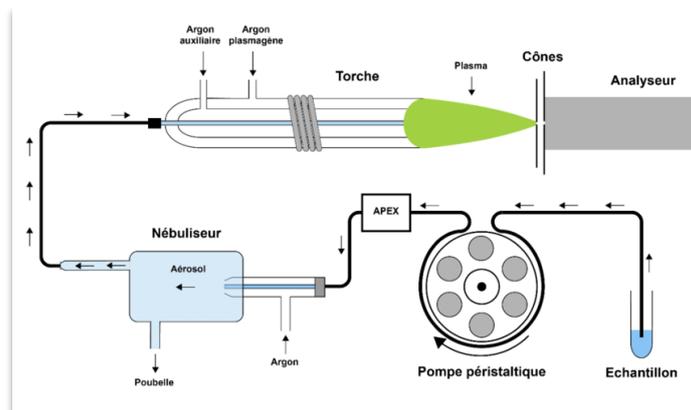
Après avoir commencé l'analyse des solutions d'ions métalliques (solution polluée au Cuivre) avec un spectromètre AA, un spectromètre ICP-AES a été utilisé pour effectuer les deux dernières analyses. En effet, ce type d'instrument a une plus grande plage de linéarité (au ppb-parties par milliard) et permet d'étudier simultanément plusieurs éléments. Le processus est basé sur l'atomisation et l'ionisation d'un échantillon par un plasma extrêmement chaud, généralement fabriqué à partir de gaz d'Argon.

L'échantillon est placé sous une sonde dans laquelle la solution est aspirée par un capillaire grâce à une pompe péristaltique. Celle-ci entre ensuite dans un nébuliseur où elle est transformée en un nuage de particules extrêmement fines contenant l'élément à étudier. Les gouttes de solution arrivent alors au niveau du plasma, une flamme d'Argon à 8000°C où les liaisons moléculaires sont cassées afin de produire des ions et atomes libres. Ces particules subissent ensuite une excitation thermique qui provoque alors une émission de lumière à une longueur d'onde caractéristique de l'élément lorsque celui-ci revient à son état fondamental (non-excité).

Les rayonnements lumineux ainsi émis sont analysés par un spectromètre constitué de deux unités placées de part et d'autre de l'émission à observer :

- un polychromateur, qui permet de mesurer l'intensité lumineuse simultanément sur plusieurs longueurs d'onde caractéristiques des éléments à analyser.
- un détecteur constitué d'un grand nombre de cellules qui, chacune, quantifie les photons d'une longueur d'onde donnée.

Le spectromètre utilisé ici est le ICAP 6300.



4.1.4. Calcul de la capacité d'adsorption et du pourcentage d'élimination

La capacité d'adsorption m_t du polluant par les pelures de fruits correspond à la masse de polluants adsorbée en mg à l'instant t par gramme d'adsorbant. Elle se calcule grâce à l'équation suivante :

$$m_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

- C_0 la concentration de polluants à l'état initial (sans écorces) en mg/L
- C_t la concentration de polluants à l'instant t dans l'eau en mg/L
- V le volume de la solution utilisée en L
- m la masse d'écorces utilisées en g

Le pourcentage d'élimination se calcule grâce à l'équation suivante :

$$\% = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100$$

- C_0 et C_t la concentration initiale et à l'instant t en polluants dans l'eau en mg/L

4.2. Mises en œuvre des expériences menées

Le groupe des colorants était chargé de réaliser une étude cinétique. Pour cela, plusieurs paramètres ont été modifiés dans le but de les comparer à savoir :

- Le choix du fruit
- La concentration en Bleu de Méthylène
- Le temps d'échantillonnage
- La masse d'adsorbant

En fonction des résultats des tests préliminaires, un protocole optimal (voir ci-dessus) a pu être établi. Regardons de plus près l'explication du choix de ces paramètres.

En se basant sur leurs recherches, des chimistes américains ont mené une étude similaire à celle réalisée par l'équipe². Selon leurs résultats, l'avocat a une capacité d'adsorption en Bleu de Méthylène de 62 mg/g. C'est un nombre plus élevé que le melon hami (58 mg/g) mais plus faible que le fruit du dragon (63 mg/g), ces deux fruits faisant partie de l'étude également. Au vu des résultats probants pour le fruit du dragon, il aurait été approprié de le sélectionner pour ce projet. Malheureusement, il a été impossible d'en obtenir. Ainsi, le choix du groupe s'est tourné vers l'avocat dont la capacité d'adsorption reste tout de même proche de celle du fruit du dragon.

Un premier test qualitatif a effectivement révélé l'efficacité de ces écorces en solution peu concentrée (5 mg/L). En effet, l'adsorption du Bleu de Méthylène y était tellement rapide que la prise de mesures en était presque impossible. De ce fait, pour ralentir la vitesse d'adsorption, une concentration en Bleu de Méthylène plus élevée, à savoir 20 mg/L, a été sélectionnée. De plus, le choix de cette concentration n'est pas anodin : cette dernière valeur est suffisamment basse pour éviter la saturation au spectromètre.

Pour une étude cinétique, le temps est le paramètre principal. Une première étude sur 50 minutes a été réalisée. Cependant, l'absorbance chute considérablement lors des 10 premières minutes et atteint un plateau très rapidement (entre 10 et 20 minutes). Ainsi, une deuxième étude a été réalisée, concentrée sur les 10 premières minutes seulement. L'étude cinétique obtenue est donc plus précise étant donné que les mesures ont été prises là où la variation de l'absorbance est la plus importante.

Le temps étant fixé, il était également judicieux de s'intéresser à la taille des écorces. Cependant, par manque d'outils de précision, il n'était pas possible d'étudier ce paramètre. Toutefois, les particules d'écorce ont été broyées de façon homogène, afin de comparer les échantillons sur une base uniforme.

Quant à la masse de l'adsorbant, la décision du groupe a d'abord été d'introduire 5 grammes d'adsorbant dans les contenants. Il s'avère que c'est une masse beaucoup trop importante. D'une part, à ce rythme, les stocks d'écorces d'avocats s'épuiseraient trop rapidement. D'autre part, cela impacte considérablement la vitesse d'adsorption : l'adsorption se faisant trop rapidement, cela laisse peu de temps pour effectuer des mesures pertinentes. Il a donc été décidé de réduire la masse à 0,5 g soit 500 mg.

Le groupe des métaux lourds, quant à lui, a fait varier différents facteurs. L'effet des écorces de différents fruits (avocat, banane et citron), sur différents métaux (Cuivre, Plomb et Zinc) en faisant varier la concentration en polluant (1 mg/L, 5 mg/L et 50 mg/L) a été étudié. La nomenclature suivante a été utilisée pour simplifier l'identification des solutions : A pour les solutions filtrées par des pelures d'avocat, B pour celles filtrées par des pelures de banane et C pour celles filtrées par des pelures de citron, avec 1, 5 et 50 pour les trois différentes concentrations. Par exemple, pour une solution de concentration de 5 mg/L et filtrée par des pelures de citron, la notation est C5.

Ces 3 paramètres étaient, selon l'équipe, de très bons révélateurs de l'efficacité d'adsorption des écorces de fruits. Il aurait été possible d'étudier d'autres facteurs d'influence tels que la taille des pelures sur leur capacité d'adsorption mais cela aurait été

trop complexe à mettre en place pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment. Pour pouvoir étudier l'influence d'autres paramètres, il aurait été également nécessaire de réaliser plus d'expériences ce qui était irréalisable par rapport à la durée du projet et emplois du temps respectifs.

Ainsi, il a été choisi de réaliser toutes les expériences avec la même masse d'adsorbant (environ 500 mg), masse tout de même mesurée avec précision pour l'exactitude des résultats.

4.3. Résultats expérimentaux

Avant d'exposer les résultats obtenus, il est important de notifier que le temps a été un facteur limitant pour effectuer des études de répétabilité et des calculs d'intervalles de confiance. Ces deux éléments sont indispensables pour une bonne interprétation des résultats. Une étude de répétabilité aurait permis d'évaluer la cohérence et la fiabilité des mesures en vérifiant si elles pouvaient être reproduites de manière précise. Cela aurait renforcé la validité des résultats et aurait permis d'identifier d'éventuels problèmes liés à la précision des instruments ou méthodes de mesure. Finalement, les calculs d'intervalles de confiance auraient permis de déterminer la marge d'erreur associée aux mesures. L'absence de ces études constitue une limite dans l'interprétation des résultats, il faut donc en tenir compte lors de l'analyse des données.

4.3.1. Etude de la cinétique d'extraction des polluants par les écorces

Comme évoqué précédemment, une étude cinétique a été réalisée afin d'analyser la capacité d'adsorption des pelures d'avocats pour une eau concentrée à 20 mg/L en Bleu de Méthylène. Avant de réaliser cette cinétique, il a été nécessaire de mesurer l'absorbance de solutions étalons afin d'obtenir une équation reliant la concentration de la solution à son absorbance.

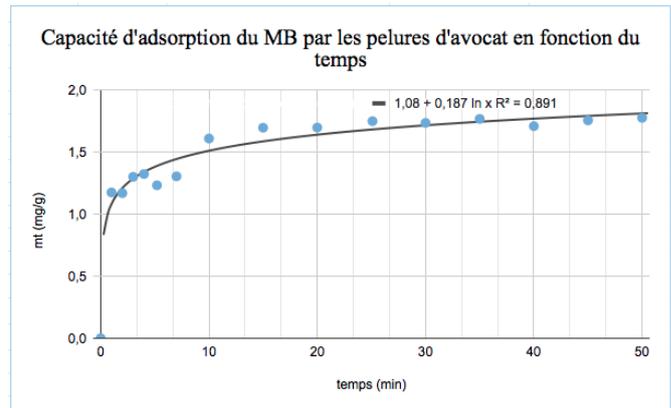
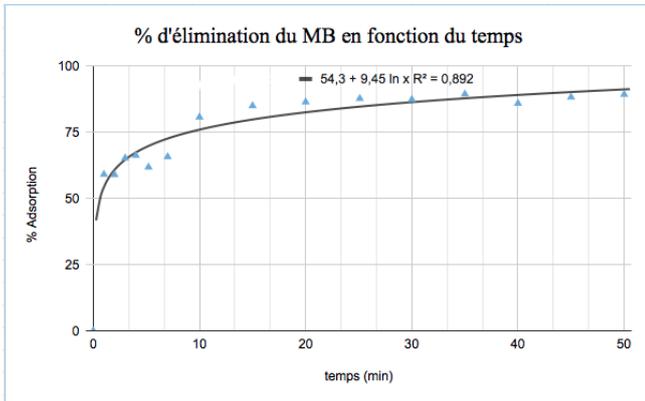
Les résultats de l'étalonnage sont ci-dessous *Annexe (1)* :

Concentration (mg/L)	20	10	5	0
Absorbance	0,768	0,383	0,192	0
Équation de la régression linéaire	A=0,0384*C - 2E-04 R^2=1			

Le tableau ci-dessous présente les résultats bruts obtenus lors de l'étude cinétique ainsi que les capacités d'adsorption m_t et le pourcentage d'élimination du MB par application des formules du 4.1.4. :

Temps t (min)	Absorbance	Concentration Ct en MB (mg/L)	Masse d'écorces (g)	Capacité d'adsorption m_t (mg/g)	% élimination
0	0,768	20,00	0	0	0
1	0,314	8,177	0,5026	1,176	59,11
2	0,315	8,203	0,5039	1,171	58,98
3	0,267	6,953	0,501	1,302	65,23
4	0,259	6,745	0,5003	1,325	66,28
5,2	0,293	7,630	0,5013	1,234	61,85
7	0,263	6,849	0,5035	1,306	65,76
10	0,148	3,854	0,5011	1,611	80,73
15	0,115	2,995	0,5007	1,698	85,03
20	0,104	2,708	0,5087	1,700	86,46
25,1	0,094	2,448	0,5012	1,751	87,76
30	0,097	2,526	0,503	1,737	87,37
35	0,081	2,109	0,5056	1,769	89,45
40	0,108	2,813	0,5023	1,711	85,94
45	0,09	2,344	0,5023	1,758	88,28
50	0,082	2,135	0,5024	1,778	89,32

Les graphiques obtenus lors de l'étude cinétique, représentant la capacité et le pourcentage d'élimination du MB en fonction du temps sont donnés ci-dessous :



Les graphiques obtenus sont semblables à ceux de la bibliographie utilisée pour le projet. La capacité d'adsorption augmente très rapidement durant les 10 premières minutes, ralentie progressivement avec le temps et atteint finalement un plateau à environ 15 minutes. En effet, comme dans beaucoup de phénomènes, il y a un équilibre entre le polluant libre et le polluant adsorbé.

Dans les conditions choisies pour l'étude cinétique, à l'équilibre, l'eau est dépolluée à quasiment 90% (50 minutes) et la capacité d'adsorption vaut

$$m_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} = \frac{(20 - 2,14) \times 0,05}{0,5024} = 1,78 \text{ mg/g}$$

Il existe plusieurs modèles cinétiques proposés pour le mécanisme par lequel le MB est adsorbé par les pelures d'avocats². Pour analyser la cinétique d'adsorption, les modèles cinétiques du premier *Annexe (2)* et deuxième ordre *Annexe (3)* ont été testés pour traiter les données.

	1er ordre	2ème ordre
	ln (m _e -m _t)	t/m _t
	0,5766133643	0
	-0,5044717753	0,8502132159
	-0,4952101067	1,708588079
	-0,7383188992	2,304
	-0,7868558385	3,019492338
	-0,6047176384	4,214719326
	-0,7464686981	5,360031683
	-1,778087641	6,207174194
	-2,50278674	8,83317611
	-2,520663191	11,76751807
	-3,540663578	14,33461745
	-3,145950448	17,2714158
	-4,532564387	19,78242795
	-2,671910463	23,37978182
	-3,796033335	25,6039646
	-6,177455247	28,12268222
équation de la courbe	-0,0981*t - 0,33	0,554*t + 0,682
R ²	0,854	0,998

Afin de tester la cinétique d'ordre 1 il faut intégrer la relation suivante entre m_{t=0} et m_t, respectivement les capacités d'adsorption à t=0s et à l'instant t.

$$\begin{aligned} \frac{dm_t}{dt} &= k_1(m_e - m_t) \\ \Leftrightarrow \int_0^{m_t} \frac{dm_t}{m_e - m_t} &= k_1 \int_0^t dt \\ \Leftrightarrow -\ln(m_e - m_t) + \ln(m_e) &= k_1 t \\ \Leftrightarrow \ln(m_e - m_t) &= \ln(m_e) - k_1 t \end{aligned}$$

En ce qui concerne la cinétique du second ordre, c'est la relation suivante qui est intégrée avec les mêmes bornes que précédemment :

$$\begin{aligned} \frac{dm_t}{dt} &= k_2(m_e - m_t)^2 \\ \Leftrightarrow \int_0^{m_t} \frac{dm_t}{(m_e - m_t)^2} &= k_2 \int_0^t dt \\ \Leftrightarrow \frac{1}{m_e - m_t} - \frac{1}{m_e} &= k_2 t \end{aligned}$$

Après réarrangement des termes on obtient : $\frac{t}{mt} = \frac{1}{k_2 \times m_e^2} + \frac{t}{m_e}$

Afin de trouver lequel de ces modèles cinétiques est adapté il faut donc tracer $\ln(m_e - mt)$ et t/mt en fonction du temps et puis comparer leur coefficient de corrélation R^2 . Annexes (2), (3).

Après observation du R^2 c'est la cinétique du second ordre qui est sélectionnée car $0,998 > 0,854$.

De plus, il est possible de calculer m_e grâce à cette même équation.

En effet, pour le deuxième ordre $m_e = 1,81$ mg/g ce qui est cohérent avec la valeur expérimentale obtenue précédemment (1,78 mg/g).

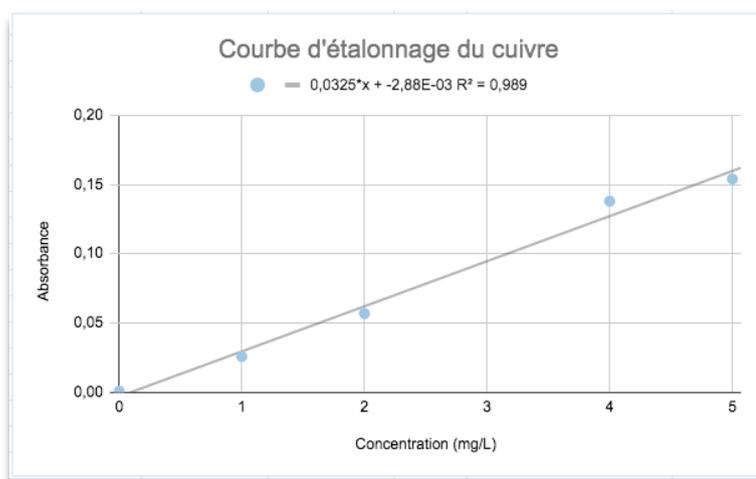
Ce résultat concorde avec ceux obtenus dans la bibliographie.

4.3.2. Résultats métaux

L'étude a été menée sur trois ions métalliques différents : le Cuivre, le Zinc et le Plomb. Avant de passer à l'analyse des solutions il a fallu tracer toutes les courbes d'étalonnage. L'exemple de l'étalonnage du Cuivre est indiqué ci-dessous les autres sont en annexes 7.2.

Nom échantillon	Concentration	Absorbance
Cu	mg/L	
Blanc	0	0,001
Etalon 1	1	0,026
Etalon 2	2	0,06
Etalon 3	4	0,14
Etalon 4	5	0,15
Etalon50	50	0,88

L'étalon 50 n'a pas été utilisé pour la courbe d'étalonnage car celui-ci conduit à la saturation du détecteur du spectromètre d'absorption atomique UV-visible.



Le coefficient de corrélation étant $R^2 = 0,989$ la linéarité n'est pas vérifiée. Le manque de temps a empêché le groupe d'effectuer les manipulations à nouveau pour obtenir un meilleur coefficient de corrélation. Pour l'étude en cours il n'est pas nécessaire d'avoir tant de précision, c'est pourquoi ces résultats peuvent quand même être analysés.

Puis les mesures des solutions obtenues, après application du protocole d'extraction présenté précédemment, ont pu être menées. Les résultats suivants ont été obtenus et sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Nom échantillon	Concentration	Absorbance	Dilution	Pourcentage d'élimination	Capacité d'adsorption
Cu	mg/L			%	mg/g
A1	0,30	0,007	1	70%	0,070
B1	0,76	0,022	1	24%	0,024
C1	0,45	0,012	1	55%	0,055
A5	1,13	0,034	1	77%	0,39
B5	4,20	0,134	1	16%	0,080
C5	1,56	0,048	1	69%	0,34
A50	2,73	0,086	5	73%	4,73
B50	8,82	0,284	5	12%	4,12
C50	3,10	0,098	5	69%	4,69

De la même façon, cette démarche a été effectuée pour les deux autres métaux. Cependant, étant donné que les résultats ont été analysés avec un spectromètre ICP-AES pour lequel l'analyse simultanée à différentes longueurs d'onde est possible, trois courbes d'étalonnage ont été obtenues pour chacun des deux cas. Ces dernières ont été réalisées en prenant l'émission, en coups par seconde, donnée par la machine, en fonction de la concentration supposée de l'étalon, à la longueur d'onde choisie.

Les résultats du Zinc et du Plomb sont déposés en annexe 7.2.

Pour les deux cas précédents, la linéarité des courbes d'étalonnage est vérifiée selon le coefficient de corrélation. Les valeurs surlignées en rouge n'ont pas été prises en compte. Elles proviennent d'erreurs expérimentales (erreur de dilution, verrerie mal rincée...)

Par souci de lisibilité du tableau et des courbes, une moyenne des résultats obtenus pour les trois longueurs d'onde choisies a été faite, pour chacun des deux métaux, après avoir vérifié que les 3 longueurs d'onde donnaient des résultats cohérents.

Tous les résultats précédents sont récapitulés dans le tableau suivant :

	Concentration des solutions mg/L	Comparaison des différents métaux					
		Cuivre		Zinc		Plomb	
		Capacité d'adsorption mg/g	Pourcentage d'élimination %	Capacité d'adsorption mg/g	Pourcentage d'élimination %	Capacité d'adsorption mg/g	Pourcentage d'élimination %
Avocat	1	0,07	70	0,021	22	0,08	90
	5	0,39	77	0,36	71	0,42	94
	50	4,73	73	2,6	53	x	x
Banane	1	0,024	24	x	x	0,079	89
	5	0,08	16	0,085	17	0,5	96
	50	4,12	12	1,3	25	4,15	84
Citron	1	0,055	55	0,34	40	0,059	88
	5	0,34	69	0,31	61	0,51	97
	50	4,69	69	3	60	4,61	93

4.3.2.1. Étude de l'influence du type de métal

Il est possible de constater que les écorces d'avocats, de bananes et de citrons ont été beaucoup plus efficaces pour dépolluer le Plomb. En effectuant une moyenne des adsorptions de chaque métal, les résultats suivants sont obtenus :

- Cuivre : 52 %
- Zinc : 38 %
- Plomb : 91 %

La différence rencontrée selon les métaux d'étude repose sur les interactions électrostatiques entre adsorbant et adsorbé. Il est alors possible de poser l'hypothèse que

l'adsorption a mieux fonctionné sur le Plomb car celui possède un numéro atomique largement supérieur au Cuivre et au Zinc (82 pour Pb, en comparaison à 29 et 30 pour Cu et Zn), impliquant donc un plus grand nombre d'électrons autour du noyau de Plomb et donc plus d'interactions électrostatiques. Une poursuite plus poussée sur d'autres métaux pourrait étayer cette hypothèse.

Après analyse des résultats il est possible de constater que pour le Cuivre et le Zinc la nature des écorces a une grande influence sur la dépollution.

Les résultats pour le Plomb sont tout à fait satisfaisants alors que ceux pour le Zinc et le Cuivre sont assez limités. Il pourrait être envisagé d'essayer de filtrer industriellement du Plomb à l'aide de cette méthode, alors que la même démarche ne serait probablement pas suffisante avec le Cuivre et le Zinc. Pour ces deux derniers, une solution serait, peut-être, de changer de pelures de fruits.

4.3.2.2. *Étude de l'influence de la nature des écorces*

- Cuivre :

Le cas du Cuivre a permis de montrer que selon le type de pelures le pourcentage d'élimination du polluant n'est pas le même. En effet, un ordre d'adsorption est tout de suite remarquable. L'avocat (résultats autour de 75 %) est le meilleur des adsorbants suivi de près par le citron (résultats autour de 60 %), et enfin par la banane (résultats autour de 20 %). Les résultats apportés par la banane sont presque négligeables alors que ceux apportés par le citron et l'avocat sont bien meilleurs et sembleraient pouvoir être appliqués à certains domaines de la filtration des eaux. C'est pourquoi, en connaissant la source de pollution, on pourrait adapter le choix de l'adsorbant, afin d'optimiser la dépollution.

- Zinc :

Pour le Zinc, le meilleur dépolluant est le citron, avec une moyenne d'élimination de 54%, suivi de l'avocat avec 49%. Les résultats de la banane sont quant à eux, beaucoup plus faibles avec une moyenne à 21%. On peut remarquer qu'il y a un très grand écart entre la banane et les autres fruits (plus de 2 fois moins d'élimination du Zinc). Par ailleurs, même si les résultats pour l'avocat et le citron sont bien meilleurs, ils ne sont pas assez satisfaisants pour être utilisés à échelle industrielle (environ la moitié du polluant a été éliminée dans ces deux cas). Les résultats n'étant pas probants, il pourrait être intéressant de tester l'efficacité d'autres écorces de fruits pour ce métal-ci.

- Plomb :

La dernière étude expérimentale, celle du Plomb comme polluant de l'eau, a révélé des résultats plutôt étonnants. Tout d'abord, il était frappant de voir à quel point les trois types d'écorce ont été efficaces pour adsorber le Plomb en solution (pourcentage d'élimination moyen pour chaque fruit de 91 %) ce qui est bien différent des résultats des deux autres métaux où il était possible de déterminer facilement quel était le meilleur adsorbant.

Une très faible différence entre les pourcentages d'élimination du Plomb pour les trois écorces a été trouvée (93% pour le citron, 92% pour l'avocat et 90% pour la banane).

Cependant, il convient de remarquer que le citron a éliminé légèrement plus de Plomb, résultat plus flagrant et confirmé par la capacité d'adsorption moyenne des trois sortes d'écorce (en moyennant sur les 3 concentrations on obtient 1,73 mg/g pour le citron, 1,58 mg/g pour l'avocat et 0,25 mg/g pour la banane).

Il est possible de relever deux autres différences entre les études avec le Zinc et le Cuivre et celle avec le Plomb. Dans ce dernier cas, les écorces de bananes ont éliminé une grande quantité de polluant (pourcentage d'élimination moyen de 90% pour le Plomb alors qu'il est de seulement 21% et 17% respectivement pour le Zinc et le Cuivre). De plus, il peut être observé que les pelures d'avocat ont été les moins efficaces contrairement aux résultats obtenus avec les deux autres métaux (capacité d'adsorption moyenne de 1,73 mg/g et de 0,99 mg/g pour le Cuivre et le Zinc respectivement alors qu'elle est de seulement 0,25 mg/g pour le Plomb).

Il faut néanmoins garder un regard critique face aux résultats qui pourraient changer si des valeurs correctes des deux paramètres d'efficacité avaient pu être trouvées pour le Plomb à 50 mg/L.

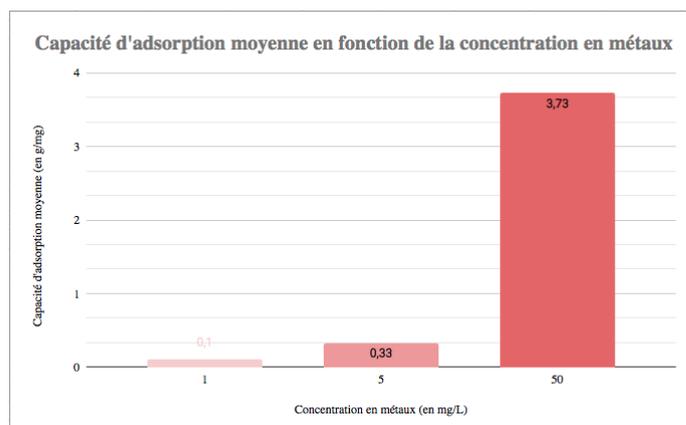
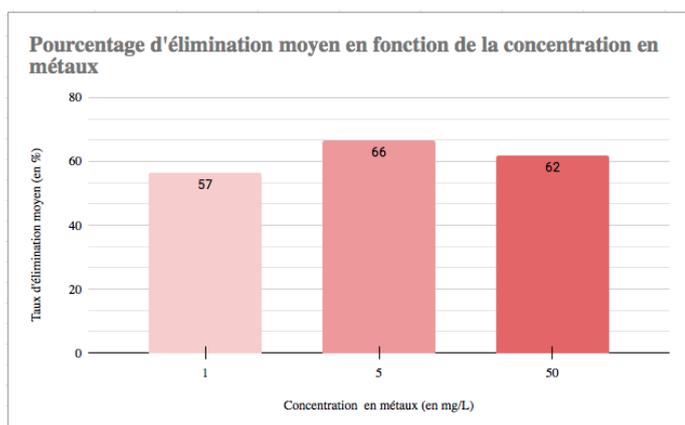
Finalement, ces résultats restent conformes à ceux qui avaient été trouvés lors des autres expériences réalisées dans la documentation^{1, 2}. Ils montrent que pour le Plomb, la nature de l'écorce influe peu sur l'efficacité d'adsorption (résultat expliqué précédemment dans la partie 4.3.2.1) ce qui pourrait être vérifié en étudiant de nouvelles écorces pour ce type de métal. Cette conclusion est très encourageante et montre bien qu'une dépollution à grande échelle est aisément envisageable pour le Plomb.

4.3.2.3. Étude de l'influence de la concentration en métaux

Pour pouvoir analyser l'ensemble des facteurs qui peuvent faire varier l'efficacité d'adsorption des pelures de fruits, il convient enfin de prendre en compte la concentration en métaux des solutions à dépolluer.

Pour chacun des métaux analysés, il est tout d'abord facile d'observer deux tendances semblables pour les deux indicateurs d'efficacité utilisés. Dans le cas de la capacité d'adsorption, celle-ci augmente en même temps que la concentration en ions et est même largement supérieure pour une concentration de 50 mg/L.

Pour ce qui est du pourcentage d'élimination, celui-ci est minimal pour une concentration de 1 mg/L, atteint un pic à 5 mg/L puis redescend légèrement à 50 mg/L.



Finalement, au regard des deux indicateurs, une concentration de 50 mg/L serait optimale pour avoir une grande efficacité d'adsorption. Il est possible de généraliser en disant que les écorces de fruits sont de meilleurs adsorbants pour de grandes concentrations en métaux que pour de petites concentrations. Cela pourrait être un frein à une utilisation du procédé à grande échelle. En effet, les eaux à dépolluer dans le monde, que ce soit dans les ruissellements de pluie, les nappes phréatiques, les fleuves ou les océans, ont des concentrations en métaux lourds beaucoup plus faibles (de l'ordre du $\mu\text{g/L}$) que celles que l'on a étudiées tout au long de ce projet.

4.4. Régénération des pelures

Il n'aurait pas fallu déplacer le problème de pollution de l'eau vers les écorces : que faire des écorces contaminées ? Il est possible de régénérer les pelures² qui ont été utilisées dans le but de les réutiliser pour la même utilité. Dans le document nommé ci-dessus, il est stipulé que la régénération repose sur un procédé de désorption. L'idée est d'utiliser des solutions acides pour adsorber efficacement les polluants cationiques contenus dans les pelures de fruits. C'est donc dans cette démarche qu'une procédure de régénération a été mise en place sur des pelures de melon. Après plusieurs essais avec une acidité variable, les scientifiques effectuant ces manipulations en sont venus à la conclusion que les meilleurs résultats étaient obtenus avec des solutions ayant un pH de 4. En effet, dans ces conditions acides, les ions H⁺ remplacent les polluants à la surface des écorces. Cette démarche a été effectuée 5 fois de suite pour voir quelles étaient les limites de la régénération. Cependant même au bout de 5 essais aucune perte significative n'a été détectée. Alors ce processus semble être un bon compromis pour pouvoir réutiliser ou éliminer comme déchets non dangereux les pelures utilisées et régénérées. De plus, à terme, un volume de solution de régénération très faible, est obtenu par rapport à celui de l'eau à purifier du départ.

L'équipe a décidé de ne pas aborder ce processus de régénération, car celui-ci représente, en lui-même, un sujet d'étude très poussé, sur lequel il faudrait consacrer beaucoup de temps. Cependant, il pourrait se révéler être une très bonne idée de projet P6 pour les années suivantes et montrer une parfaite continuité avec le projet actuel.

5. CONCLUSIONS

5.1. Conclusions sur le travail réalisé

Trois types de pelures de fruits ont été utilisés au sein de ce projet, l'avocat, le citron et la banane afin d'éliminer différents types de polluants dissous dans l'eau : les métaux lourds (Plomb, Cuivre et Zinc) et les molécules organiques (Bleu de Méthylène). Deux des trois pelures, l'avocat et le citron se sont révélées efficaces pour éliminer les molécules organiques et les métaux lourds de l'eau, en atteignant des taux d'élimination de plus de 90% dans certaines expériences !

Les pelures d'avocats ont montré la plus grande efficacité d'extraction, atteignant près de 95 %, vis-à-vis du Plomb et du Bleu de Méthylène. Les pelures de citrons ont montré une efficacité d'extraction du Plomb similaire à celle de l'avocat. Finalement, ce sont les pelures de banane qui ont obtenu les résultats les moins concluants en moyenne, sauf pour le Plomb. Ce dernier a, en effet, révélé des résultats plutôt étonnants avec les 3 types de pelures. La capacité d'adsorption des polluants a augmenté avec le temps d'extraction, atteignant un plateau à l'équilibre, ce qui implique que le processus d'adsorption était rapide au début, diminuait progressivement avec le temps et atteignait enfin un équilibre entre polluant libre et polluant adsorbé.

Les 3 pelures pourraient être utilisées en tant qu'adsorbants renouvelables, à faible coût, efficaces et performants pour la purification de l'eau, notamment si le type de pelure est adapté au type de polluant majoritaire contenu dans l'eau traitée. Il est notamment possible d'imaginer utiliser des pelures d'avocat ou de citron pour filtrer des eaux agricoles très concentrées en sulfate de Cuivre.

5.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

Arthur RENARD : Dès que j'ai vu le sujet, je me suis dit que combiner l'utilisation de nos déchets et la purification de l'eau, qui est de plus en plus polluée, était forcément un sujet d'avenir. Alors j'ai de suite été motivé par ce projet. Maintenant que le projet est terminé, je

me rends compte que celui-ci m'a permis de comprendre comment fonctionnait une démarche chimique complète, où nous proposons nous-mêmes nos expériences, ce que même lors de TP nous ne pouvons aborder. Le sujet a su attiser ma curiosité du début à la fin car au fur et à mesure de nos expériences nous avons eu des résultats concrets et probants, ce qui était très motivant pour l'avancée de notre travail. Au début j'ai eu peur du travail de groupe car un travail à 6 est difficile à organiser. Mais finalement grâce au Trello et au Gantt notre progression a été claire et bien planifiée, ce qui nous a permis d'avancer sereinement dans le projet. Bien évidemment tout le temps passé dans les laboratoires m'ont permis de mieux comprendre le matériel qui nous entoure. Finalement le fait de travailler sur un même projet est très motivant car cela nous permet de vraiment nous impliquer dans une démarche qui nous semble être la bonne. Mon envie d'aller dans le département CFI est confirmée.

Eva LEOGAL : L'intitulé du sujet, pelures de fruits comme adsorbants renouvelables pour éliminer les polluants de l'eau m'a immédiatement intéressé, c'est pour cette raison que je l'ai classé en premier lors de mes choix. L'aspect expérimental de ce projet a, de même, été un argument. J'ai pu en apprendre beaucoup sur le domaine de la chimie grâce aux nombreuses manipulations réalisées, et aux machines utilisées. Ce projet m'a énormément conforté dans mon choix d'orientation. En effet, je souhaite travailler dans la formulation de cosmétiques issus de l'agriculture biologique et réaliser un projet reliant la chimie et la protection de l'environnement m'a prouvé que ces deux domaines ne sont pas radicalement opposés et qu'avec des recherches poussées sur le sujet, nous pourrions, à terme, limiter la pollution des terres. Mais finalement, ce projet m'a autant appris sur le travail de groupe ainsi que sur l'utilisation d'outils très performants pour mener à bien un projet. J'ai trouvé notre équipe soudée et travailler avec des personnes réactives, motivées et bienveillantes n'a été que bénéfique.

Lucie MICHAUT : Étant passionnée par les sports nautiques, la protection de l'environnement, et tout particulièrement des océans, me tient à cœur. C'est pourquoi j'ai fait le choix de ce sujet. J'ai particulièrement aimé le fait que ce sujet soit expérimental. Cela nous a permis d'être libres de choisir nos expériences (choix des fruits, des métaux, des colorants, des concentrations). De plus, cela nous a permis de travailler sur une manière de dépolluer l'eau qui n'a pas encore été beaucoup étudiée. En tant que futurs ingénieurs, je pense que cela nous est bénéfique car nous allons être amenés à chercher de nouvelles manières d'innover, tout en respectant l'environnement. Ce projet m'a confortée dans l'idée que nous puissions trouver de nouvelles solutions répondant aux problématiques environnementales actuelles et dans mon envie d'y contribuer. Par ailleurs, ce projet m'a montré que travailler dans un groupe de 6 personnes est profitable lorsque l'on a une bonne organisation et capacité d'écoute. En effet, cela nous a permis d'échanger nos points de vue et de s'entraider. Nous avons ainsi bien avancé dans ce projet expérimental, tout en gardant une bonne ambiance de groupe.

Nathan GERMAIN : Dès que j'ai lu l'intitulé de ce projet, j'ai compris qu'il était fait pour moi. En effet, la protection de la biodiversité, la préservation de notre planète, a toujours été une cause importante à mes yeux. De plus, je suis convaincu que pour défendre cette cause, l'innovation et les nouvelles technologies sont essentielles. De fait, ce projet m'a permis de découvrir un nouveau procédé, assez simple à réaliser, qui pourrait très bien être développé par des ingénieurs à une plus grande échelle pour dépolluer les eaux du monde entier. Cette étude m'a donc bien conforté dans mon choix de me diriger vers le génie des procédés pour pouvoir développer plus tard moi aussi des solutions innovantes en faveur de l'environnement, de l'accès à la santé, bref, du développement durable.

J'ai beaucoup aimé travailler à la réalisation de ce projet, le fait de pouvoir réaliser nous-mêmes une expérience qui a été effectuée par peu d'autres étudiants avant nous. Dans la liste des projets à choisir en début de semestre, beaucoup d'autres traitaient de développement durable mais aucun ne proposait d'analyser les résultats de ses propres

manipulations. Finalement, j'ai adoré réaliser ce projet avec une équipe d'étudiants engagés et aussi passionnés que moi.

Cette pédagogie par projet m'a beaucoup intéressé et renforce également mon envie de rejoindre le département GPGR l'année prochaine.

Faustine ALQUIER : Pour ma part, j'ai immédiatement noté que ce sujet se démarquait des autres par son originalité. En effet, il est plutôt intrigant que des pelures de fruits, ces dernières faisant partie de notre quotidien, puissent dépolluer des eaux. Ainsi j'ai trouvé ce projet très riche et intéressant à tous les niveaux. Certes, cela m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances en chimie mais aussi sur la gestion de projet. L'aspect "chimie verte" du projet m'a beaucoup plu. L'environnement est certainement au cœur des préoccupations du monde de demain. Bien que l'industrie chimique soit une des plus polluantes, la chimie verte prend de plus en plus d'ampleur et ce projet en est la preuve. Ainsi, la récupération des pelures de fruits comme dépolluant s'inscrit dans cette démarche. Quant à la gestion de projet, j'ai compris que l'organisation et la répartition des tâches étaient primordiales pour mener à bien un projet. Traiter ce sujet sous forme de projet a aussi permis de rendre le travail plus vivant, interactif. Ainsi j'appréhende les projets à venir plus confiante et préparée.

Guillaume RENAUD : Lors de ma recherche de projet j'ai été intrigué par l'intitulé de celui-ci, "pelures de fruits comme adsorbants renouvelables pour éliminer les polluants de l'eau". Étant quelqu'un de curieux, je me suis mis à me poser de nombreuses questions et c'est pour y trouver les réponses que j'ai l'ai placé en premier choix. De plus, j'ai beaucoup apprécié le côté plus expérimental de ce projet. En nous laissant libres, il nous a demandé de formuler nous-mêmes nos protocoles, en choisissant notre matériel, et de résoudre des problèmes expérimentaux. Il nous a aussi poussé à réfléchir sur l'analyse et l'interprétation à donner à nos résultats expérimentaux. Enfin, le fait de travailler en groupe m'a permis de m'améliorer sur un point qui ne m'est pas familier : le travail en équipe. D'un autre côté, ce projet m'a fait réfléchir sur les enjeux environnementaux mais aussi sanitaires liés à la chimie et a conforté mon choix de continuer dans ce domaine.

5.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet

Après toutes ces recherches, une question se pose alors : pourquoi ne pas industrialiser cette méthode de dépollution ? Purifier les effluents industriels, les eaux domestiques ou encore les eaux agricoles : cette méthode serait alors peu coûteuse et à priori efficace. De plus, il ne serait pas difficile de se prémunir d'écorces de fruits à grande échelle. Il s'agit avant tout de déchets alimentaires du quotidien : plus de 35 millions de pelures sont produites par les industries alimentaires chaque année. Ainsi, les recycler ne pourrait être que bénéfique. Cependant, dans notre protocole, certains aspects ne s'inscrivent pas dans une démarche de transition écologique, notamment la préparation des écorces : la technique du séchage, certes présente dans certains pays, n'est pas forcément nécessaire, consomme beaucoup d'énergie. Ici, cette technique permet de s'affranchir de l'eau dont le taux variable en fonction de l'état de conservation des écorces aurait posé problème pour la phase d'évaluation qui est la nôtre. Ainsi, quelques zones d'ombres apparaissent sur cette méthode. Le procédé industriel ne voit donc pas encore le jour, mais ces recherches restent très prometteuses.

D'autres sujets de projets similaires seraient tout aussi pertinents à traiter. Par exemple, pour le même sujet, il serait intéressant de tester d'autres écorces de fruits, voire de légumes ou même encore de graines. Cela permettrait probablement de découvrir des écorces ou des graines dont la capacité d'absorption serait encore plus importante, en fonction du polluant choisi. En parlant de polluant, il serait donc également intéressant de faire varier le type de polluants, voire d'en combiner plusieurs dans l'optique d'obtenir un rendement potentiellement meilleur et plus fidèle aux eaux rencontrées dans la nature. Par

ailleurs, comme mentionné précédemment, la régénération des pelures serait un sujet de projet tout à fait exploitable. Madame Juliette VIEVARD, doctorante dans les laboratoires de l'INSA, effectue actuellement une thèse sur un sujet proche. En effet, celle-ci étudie aussi la filtration de l'eau, cependant par de la fibre de lin et sur des concentrations nettement inférieures à celle étudiée pour ce projet, reflétant plus intimement les concentrations en polluants trouvés dans la nature. Cela illustre le champ des possibilités qui peuvent être abordés concernant ce projet.

Après tout, il ne serait pas incongru de se demander si les pelures de fruits n'auraient pas des effets d'adsorption sur d'autres éléments chimiques ou tout simplement d'autres utilités. Pourrait-on les utiliser dans d'autres domaines ? Il est tout à fait surprenant de découvrir que, oui, les pelures de fruits et même de légumes auraient leur place dans un processus industriel. Depuis 2020, une entreprise espagnole du nom de AIJU a mis en place un procédé industriel destiné à la fabrication de jouets à partir de ces pelures. Les résultats sont probants : la couleur tient davantage dans le temps et certaines écorces d'agrumes auraient même des propriétés antimicrobiennes. L'utilisation de ces pelures est donc tout à fait avantageuse, cochant tous les critères de sécurité et d'hygiène que l'on recherche dans un jouet pour enfant. De plus, il est préférable d'utiliser des déchets de l'agroalimentaire recyclés, plutôt que des matériaux comme le plastique, plus polluant. Ainsi, les écorces de fruits ont des propriétés multiples dont nous ignorons peut-être l'étendue.

6. BIBLIOGRAPHIE

[1] : Cindy Samet and Suresh Valiyaveetil. Fruit and Vegetable Peels as Efficient Renewable Adsorbents for Removal of Pollutants from Water : A Research Experience for General Chemistry Students. J. Chem. Educ. 2018, 95, 1354–1358

[2] : Ramakrishna Mallampati, Li Xuanjun, Avner Adin and Suresh Valiyaveetil. Fruit Peels as Efficient Renewable Adsorbents for Removal of Dissolved Heavy Metals and Dyes from Water. ACS Sustainable Chem. Eng. 2015, 3, 1117–1124

[3] : <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-analytique/spectroscopies/introduction-a-la-spectroscopie-uv-visible>

[4] : <https://www.bronkhorst.com/fr-fr/blog/plasma-a-couplage-inductif-icp-pour-analyse-environnementale/>

[5] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_%C3%A0_plasma_%C3%A0_couplage_inductif

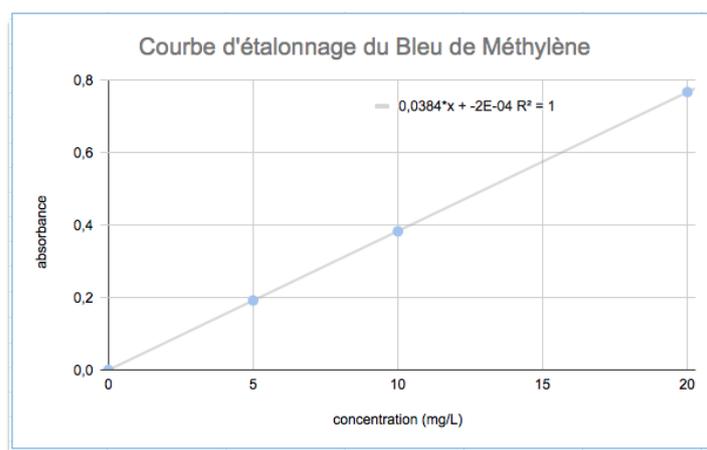
[6] : <file:///C:/Users/Utilisateur/Downloads/539722a5ee265.pdf>

[7] : <https://www.oneheart.fr/actualites/jouets-fabriques-epluchures-fruits-legumes>

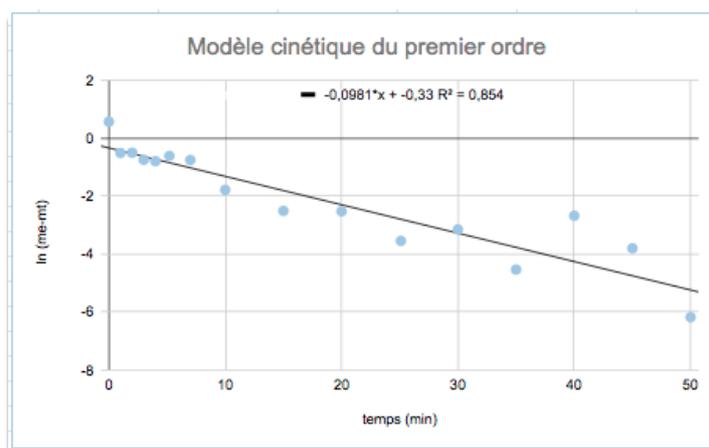
7. ANNEXES

7.1. Annexes partie : 4.3.1. Étude de la cinétique d'extraction des polluants par les écorces

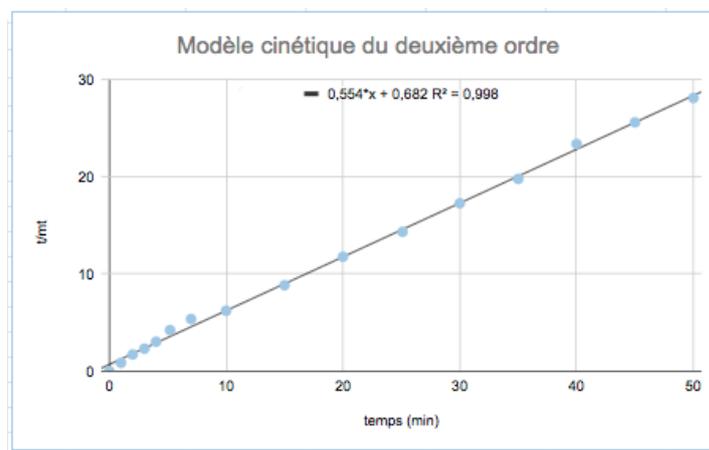
(1) :



(2) :



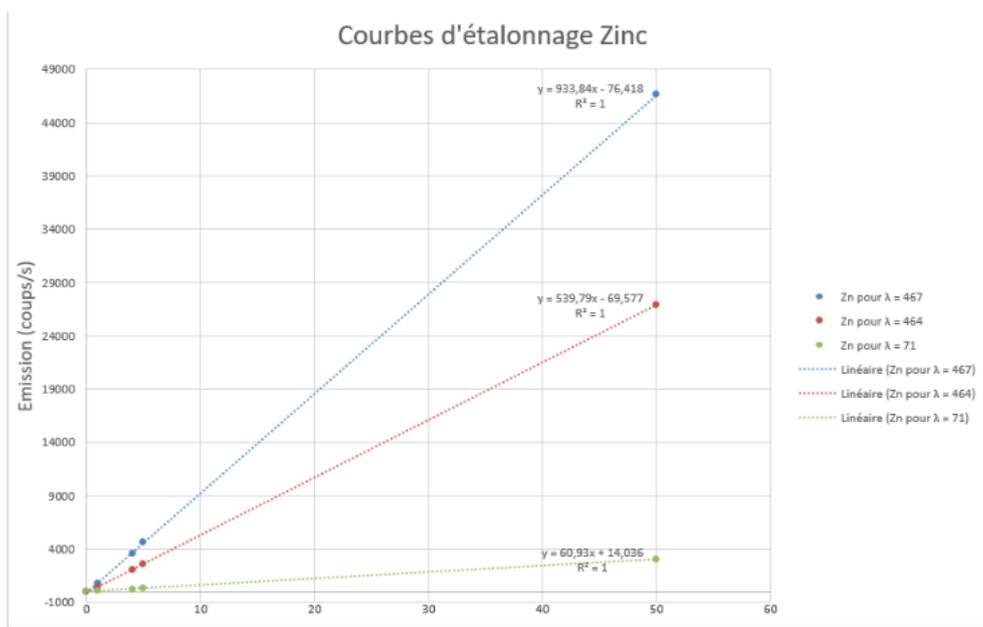
(3) :



7.2. Annexes partie : 4.3.2. Résultats métaux

Annexes du Zinc :

(1) Graphique avec les trois courbes d'étalonnage du Zinc :



(2) Tableau des étalons du Zinc :

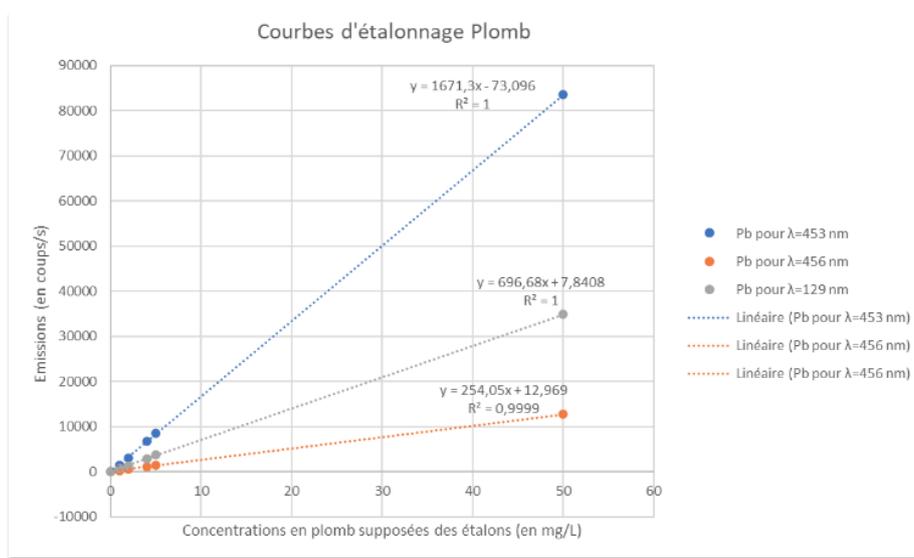
Nom échantillon	Zn 202.548 {467} (Radial)	Zn 206.200 {464} (Radial)	Zn 472.216 {71} (Radial)	Zn 202.548 {467} (Radial)	Zn 206.200 {464} (Radial)	Zn 472.216 {71} (Radial)	
Zn	Emission	Emission	Emission	Concentration	Concentration	Concentration	Moyenne Concentration initiale
	coups/s	coups/s	coups/s	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Blanc	0,4	0,5	26	Courbe d'étalonnage d'équation $y = 933,84x - 76,418$	Courbe d'étalonnage d'équation $y = 539,79x - 69,577$	Courbe d'étalonnage d'équation $y = 60,93x + 14,036$	0,1361465093
Etalon 1	806	455	66				0,9231997467
Etalon 2							
Etalon 3	3586	2029	254				3,916003787
Etalon 4	4638	2630	319				5,01824553
Etalon50	46618	26925	3061				50,0065367
eau désionisée	0	0	0				
eau milliQ	0	0	0				

(3) Tableau des résultats obtenus :

Nom échantillon	Zn 202.548 {467} (Radial)	Zn 206.200 {464} (Radial)	Zn 472.216 {71} (Radial)	Zn 202.548 {467} (Radial)	Zn 206.200 {464} (Radial)	Zn 472.216 {71} (Radial)	Moyenne Concentration	réelle masse	Pourcentage d'élimination	Capacité d'adsorption
Zn	Emission	Emission	Emission	Concentration	Concentration	Concentration	mg/L	g	%	mg/g
	coups/s	coups/s	coups/s	mg/L	mg/L	mg/L				
A1	568	320	59	0,6901	0,7217	0,7380	0,7166	0,5033	22%	0,021
B1	915	516	91	1,0617	1,0648	1,263	1,137	0,503	59%	0,41
C1	330	187	59	0,4352	0,4753	0,7380	0,5495	0,5008	40%	0,34
A5	1206	679	110	1,3733	1,3868	1,575	1,445	0,5005	71%	0,36
B5	3788	2143	274	4,1382	4,0990	4,267	4,168	0,5015	17%	0,085
C5	1668	940	140	1,8680	1,8703	2,067	1,935	0,5038	61%	0,31
A50	21912	12483	1439	23,5462	23,2546	23,39	23,40	0,5021	53%	2,65
B50	34763	19952	2324	37,3077	37,0514	37,91	37,44	0,5008	25%	1,25
C50	18712	10603	1229	20,1195	19,7717	19,94	19,94	0,5063	60%	2,97

Annexes du Plomb

(1) Graphique avec les trois courbes d'étalonnage du Plomb :



(2) Tableau des étalons du Plomb :

Nom échantillon	Pb 220.353 (453) (Axial)	Pb 216.999 (456) (Axial)	Pb 261.418 (129) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Pb 216.999 (456) (Axial)	Pb 261.418 (129) (Axial)	
Pb	Emission	Emission	Emission	Concentration	Concentration	Concentration	Moyenne Concentration
	coups/s	coups/s	coups/s	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Bianc	1	2	15				0,0038
Etalon 1	1466	234	632				0,8956
Etalon 2	3017	477	1277	Courbe d'étalonnage d'équation y =1671,3x-73,096	Courbe d'étalonnage d'équation y =254,05x+12,969	Courbe d'étalonnage d'équation y =696,68x+7,8408	1,8324
Etalon 3	6660	1054	2851				4,0691
Etalon 4	8566	1353	3637				5,2177
Etalon 50	83475	12709	34829				49,9820
eau désionisée	0	0	0				0

(3) Tableau des résultats obtenus :

Nom échantillon	Pb 220.353 (453) (Axial)	Pb 216.999 (456) (Axial)	Pb 261.418 (129) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Pb 216.999 (456) (Axial)	Pb 261.418 (129) (Axial)				
Pb	Emission	Emission	Emission	Concentration	Concentration	Concentration	Moyenne Concentration	réelle masse	Pourcentage d'élimination	Capacité d'adsorption
	coups/s	coups/s	coups/s	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	g	%	mg/g
eau milliQ	0	0	0	0	0	0	0			
A1	151	25	68	0,1341	0,0474	0,0864	0,0893	0,5035	90%	0,080
B1	169	26	73	0,1449	0,0513	0,0935	0,0966	0,5019	89%	0,079
C1	184	28	80	0,1538	0,0592	0,1036	0,1055	0,501	88%	0,059
A5	495	79	213	0,3399	0,2599	0,2945	0,2981	0,5059	94%	0,42
B5	349	52	145	0,2526	0,1536	0,1969	0,2010	0,5017	96%	0,50
C5	210	30	119	0,1694	0,0670	0,1596	0,1320	0,5031	97%	0,51
A50	x	x	x	x	x	x	x	0,5021	x	x
B50	x	1815	6550	x	7,0932	9,3905	8,242	0,5029	84%	4,15
C50	7353	921	2075	4,378	3,5742	2,9672	3,640	0,5026	93%	4,61