

PROJET CHARBONNIER

Rapport traitement de l'eau

Projet ingénieur étudiant



Porteur de projet



Eau



Matériaux



Energie



CONTACT

cultureailleurs@yahoo.fr

GRENOBLE

Septembre - Janvier 2021/2022

Sommaire

Introduction commune aux rapports du projet Charbonniers du Trièves	4
Demande des porteurs de projet	4
Introduction	5
Traitement de l'eau	5
2.1. Potabilité	5
2.2. Traitement de l'eau	8
2.3. Filtration céramique	9
2.3.1. La céramique	9
2.3.2. Analyse de l'existant	10
2.4. Tests sur le charbon des charbonniers	11
2.4.1. Test avec des bandelettes	11
Eau enrichie en fer Eau enrichie en nitrate (avec de l'engrais)	13
2.4.2. Test d'analyses plus précis : Nitrates	13
2.4.3. Test sur la durabilité des propriétés d'absorption du charbon	18
Cartouche rechargeable	19
3.1. Etat de l'art	19
3.1.1. Filtration par gravitation	19
3.1.2. Fixation sur robinet	19
3.1.3. Branchement au réseau	20
3.2. Hypothèses et démarches de conception	22
3.3. Conception finale	23
3.3.1. Conception cartouche en acier inox	24
3.3.2. Conception cartouche en PE alimentaire	24
3.3.3. Conception cartouche en argile	25
Analyse de cycle de vie de la cartouche rechargeable	26

4.1. Hypothèses et données:	26
4.1.1. Cartouche acier inoxydable	26
4.1.2. Cartouche en polyéthylène alimentaire	27
4.1.3. Cartouche en argile	28
4.2. Résultats	29
4.2.1. Impact des matériaux utilisés	29
4.2.2. Impact du transport	29
4.2.3. Analyse de l'ACV	30
4.3. Conclusions	31
ANNEXES	32
Protocole sur les bactéries	32
1ère étape : Création d'une culture de bactérie	32
2ème étape : Contamination de l'eau avec les bactéries	33
3ème étape : Tester l'eau contaminée	33
4ème étape : Test de la filtration	33

Introduction commune aux rapports du projet Charbonniers du Trièves

Ce rapport est issu du travail de six étudiants du semestre [PISTE](#) (Pour une Ingénierie Sobre Techno et Éco-responsable) 2021-2022 de [Grenoble INP](#), en collaboration avec l'association [Culture Ailleurs](#).

Le projet « Charbonniers du Trièves » est porté par l'association Culture Ailleurs, qui réalise des performances artistiques dans divers domaines. A la suite d'un appel à projet sur la forêt, les membres de l'association s'intéressent à une discipline ayant une forte histoire sur le territoire : le travail de charbonnier, initialement voué à alimenter les fours de métallurgie, puis les moteurs fonctionnant au gaz de charbon. Aujourd'hui, le métier exercé par les charbonniers de l'association consiste à réaliser la pyrolyse de bois récolté en forêt (issu des coupes d'entretien réalisées par l'Office National des Forêts) afin de produire du charbon végétal. L'association acquiert alors un four à pyrolyse, pour produire et vendre ce charbon végétal, tout en réalisant des performances artistiques sur cette thématique. Une caractéristique notable du charbon végétal est la présence de nombreux pores : il agit alors comme un filtre, dépolluant l'eau et l'air, mais peut aussi être utilisé pour régénérer la vie des sols grâce à ses capacités de rétention d'eau, de nutriments, de bactéries.

Notre travail d'étudiant-ingénieur se concentre sur : 1° L'utilisation du charbon actif pour filtrer l'eau ; 2° L'étude et la conception d'un modèle de four à pyrolyse de plus petite taille que le modèle *Exeter Retort* utilisé par les porteurs de projet; 3° La documentation du four *Exeter Retort*.

Demande des porteurs de projet

L'association Culture Ailleurs a commencé à s'intéresser aux problématiques de traitement de l'eau lorsque des utilisateurs de cartouches de charbon actif leur ont demandé s'il était possible d'utiliser leur charbon pour filtrer l'eau. L'association a alors constaté que les cartouches actuellement commercialisées sont jetées après utilisation et que leur charbon n'est pas remplaçable.

Leur idée était alors de proposer une cartouche qui soit rechargeable afin de rendre possible l'utilisation de leur charbon. Les porteurs désiraient également que la cartouche soit locale. Pour qu'elle puisse être créée par des artisans, ou par les utilisateurs eux-mêmes, avec des matériaux locaux et adaptable à une majorité de systèmes de filtration.

Enfin une dernière demande était de rendre la cartouche simple, au niveau de la fabrication, de l'installation et de l'utilisation.

Introduction

Ce rapport regroupe l'ensemble des travaux que nous avons menés pour étudier la filtration de l'eau grâce au charbon.. Il se décompose en une première partie sur le traitement de l'eau, avec un état de l'art sur la potabilité, des traitements possibles sur l'eau et une description des tests que nous avons pu mener pour essayer d'évaluer les propriétés du charbon des charbonniers en matière de filtration d'eau. Une deuxième partie sur les systèmes de filtration d'eau par charbon, avec un état de l'art des solutions existantes et une explication de la conception de notre système de cartouche rechargeable. Puis une dernière partie sur la prise en compte de l'impact sociétal et environnemental de la cartouche, à travers son analyse de cycle de vie (ACV).

Traitement de l'eau

2.1. Potabilité

La réglementation française définit une eau destinée à la consommation humaine comme devant «ne pas contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes et être conforme à un certain nombre de limites et de références de qualité définies par le décret».

Pour être considérée comme potable, l'eau doit être exempte de toute substance jugée nocive pour la santé¹ :

- Les germes pathogènes, comme les bactéries et les virus;
- Les micro-organismes parasites;
- Les substances chimiques indésirables, comme les nitrates, les phosphates, les métaux lourds, les hydrocarbures et les pesticides.

A l'inverse, certaines substances jugées nécessaires pour l'organisme et naturellement contenues dans l'eau doivent être conservées dans l'eau que nous buvons :

- Des sels minéraux, comme le calcium, le magnésium, le potassium, le chlore...
- Des oligo-éléments, comme le fluor, le cuivre, le fer, le silicium, le manganèse, le zinc...

Pour pouvoir être consommée en toute sécurité, l'eau doit répondre à des critères de potabilité très stricts dictés par le Ministère de la Santé et le Conseil Supérieur du secteur

¹ ARS, 5 mars 2019, Les paramètres de la qualité de l'eau. Lien : <https://www.auvergne-rhone-alpes.ars.sante.fr/les-parametres-de-la-qualite-de-leau>

d'Hygiène Publique. Ces normes varient en fonction de la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau destinée à la consommation humaine ou d'une eau industrielle.

A ce jour, il existe 63 critères de potabilité de l'eau, que l'on peut regrouper en 5 grands paramètres² :

- Les **paramètres physico-chimiques** : ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.
Exemples :
 - La teneur en sulfate doit être inférieure à 250 mg/l
 - La teneur en chlorures doit être inférieure à 200 mg/l
 - La teneur en potassium doit être inférieure à 12 mg/l
 - Le pH de l'eau doit être compris entre 6,5 et 9
 - Le TH, soit la dureté de l'eau, qui correspond à la mesure de la teneur d'une eau en ions calcium et magnésium, doit être supérieur à 15 degrés français. Autrement dit, une eau ne doit pas posséder moins de 60 mg/l de calcium ou 36 mg/l de magnésium, sinon elle sera jugée trop douce et pourrait corroder les canalisations, elle devra alors faire l'objet de minéralisation et/ou de neutralisation pour retrouver un équilibre calco-carbonique.
- Les **paramètres organoleptiques** : ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.
- Les **paramètres microbiologiques** : ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire des épidémies.
 - 0 Escherichia coli
 - 0 entérocoque
- Les **paramètres liés aux substances indésirables** : ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides.
 - La teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l
 - La teneur en fluor doit être inférieure à 1.5 mg/l
 - Pour les pesticides :
 - 0,1 µg/L par substance (sauf pour l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorépoxyde : 0,03 µg/L)
 - et 0,5 µg/L pour la totalité des substances
- Les **paramètres liés aux substances toxiques** : les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité. Leur teneur tolérée est de l'ordre du millionième de gramme par litre d'eau.

² Philippe Beaulieu, L'eau potable : sa définition, ses origines, ses critères de potabilité et ses traitements. Lien :

<https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-definition-de-leau-potable/>

- Arsenic : 10 µg/L
- Antimoine : 5 µg/L
- Chlorure de vinyle monomère (CVM) : 0,5 µg/L

Suite à la directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine adoptée le 3 novembre 1998, il existe des normes précises concernant différents paramètres.

Normes de l'Union Européenne sur l'eau potable³ :

Paramètres Chimiques	Paramètres indicatifs	Paramètres microbiologiques
Acrylamide 0.10 µg/l	Aluminium 0.2 mg/l	Escherichia coli (E. coli) 0 dans 250 ml
Antimony 5.0 µg/l	Ammonium 0.5 mg/l	Enterococci 0 dans 250 ml
Arsenic 10 µg/l	Chlore 250 mg/l	Pseudomonas aeruginosa 0 dans 250 ml
Benzène 1.0 µg/l	Clostridium perfringens (incluant les spores) 0/100 ml	Nombre de colonies à 22°C : 100/ml
Benzo(a)pyrène 0.010 µg/l	Couleur : Acceptable pour les consommateurs sans couleurs anormales	Nombre de colonies à 37°C : 20/ml
Bore 1.0 mg/l	Conductivité : 2500 µS/cm à 20°C	
Brome 10 µg/l	pH ≥ 6.5 et ≤ 9.5	
Cadmium 5.0 µg/l	Fer 0.2 mg/l	
Chrome 50 µg/l	Manganèse 0.05 mg/l	
Cuivre 2.0 mg/l	Odeur : Acceptable pour les consommateurs et sans odeurs anormales	
Cyanure 50 µg/l	Pouvoir oxydant 5.0 mg/l O ₂	
1,2-dichloroéthane 3.0 µg/l	Sulfate 250 mg/l	
Epichlorhydrine 0.10 µg/l	Sodium 200 mg/l	
Fluor 1.5 mg/l		
Plomb 10 µg/l		
Mercure 1.0 µg/l		
Nickel 20 µg/l		

³ Lenntech, Normes de l'UE sur l'eau potable. Lien : <https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-ue-eau-potable.htm>

Nitrate 50 mg/l	Goût : Acceptable pour les consommateurs et sans goûts particuliers	
Nitrite 0.50 mg/l		
Pesticides 0.10 µg/l	Nombre de colonie à 22°C : Pas de concentrations anormales	
Pesticides - Total 0.50 µg/l	Bactérie coliforme 0/100 ml	
Polycyclic aromatic hydrocarbons 0.10 µg/l (somme des composés)	Carbone organique total : Pas de changement anormal	
Sélénium 10 µg/l	Turbidité : Acceptable pour les consommateurs et pas de changement anormal	
Tetrachloroéthène et Trichloréthylène 10 µg/l (somme des composés)	Tritium 100 Bq/l	
Trihalométhanes – Total 100 µg/l (somme des composés)	Dose indicative totale 0.10 mSv/an	
CHlorure de vinyle 0.50 µg/l		

2.2. Traitement de l'eau

Adduction d'eau potable

Pour respecter ces normes, l'eau facturée que nous buvons au quotidien est traitée en amont par un ensemble de procédés avant de pouvoir être consommée.⁴

- 33 % des eaux distribuées reçoivent un traitement simple de filtration et de désinfection
- 23 % des eaux distribuées reçoivent un traitement physico-chimique avec désinfection
- 25 % des eaux distribuées reçoivent un traitement complet avec traitement physico-chimique poussé, affinage (charbons actifs ou membranes) et désinfection.
- 29 % Des eaux distribuées reçoivent un mixte de traitements ou un traitement d'un autre type.

Malgré une très bonne qualité de l'eau en France, des non conformités ponctuelles peuvent questionner et inquiéter les populations.⁵ Les entretiens utilisateurs que nous avons menés vont dans ce sens. Vivre à côté d'une exploitation agricole ou dans une zone

⁴ SOeS-SSP 2008

<http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/gestion-eau-potable-production.html>

⁵ Ministère de la solidarité et de la santé, mise à jour le 20 décembre 2021, Qualité de l'eau potable. Lien : <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/eau>

régulièrement soumise à la présence de radon⁶ peut également inquiéter et faire naître une volonté de se protéger des risques en suivant un principe de précaution. Certaines personnes sont donc à la recherche d'un système de filtration supplémentaire pour améliorer la qualité mais aussi parfois le goût de l'eau qu'ils consomment.

Approvisionnement personnel en eau (pluie, puits ...)

A l'exception des eaux provenant du réseau public, toutes les autres eaux sont, à priori, considérées comme non potables. En France, il est strictement interdit d'utiliser l'eau de pluie récupérée pour l'alimentation (la boire, faire la cuisine ou la vaisselle par exemple), mais il est possible de l'utiliser pour l'entretien intérieur (WC, arrosage, lavage du sol...) ou pour des usages extérieurs (lavage de voiture, arrosage de jardin...)⁷. Les mêmes interdictions sont appliquées pour l'eau d'un puits, tant que des tests en laboratoire sur la potabilité n'ont pas été menés. De nombreux sites proposent des systèmes de filtration complexes extrêmement onéreux sans pour autant assurer la potabilité à la sortie puisque sa consommation reste interdite⁷.

2.3. Filtration céramique

Les systèmes de filtration en céramiques sont courants sur le marché tant pour un usage individuel (billes, cartouches...) qu'en station d'épuration (membranes). Nous nous sommes alors questionnés sur son utilisation combinée avec l'adsorption du charbon et proposons ici un état de l'art de son utilisation dans la filtration de l'eau.

2.3.1. La céramique

La céramique désigne une famille de matériaux. Elle comprend la terre cuite, la faïence, le grès et la porcelaine. Nous allons nous intéresser à deux céramiques poreuses⁸ :

- La faïence : Cuite à des températures supérieures à 1000°C
- La terre cuite : peut rester poreuse aussi selon la température de cuisson et le choix de la terre.

Les entretiens que nous avons menés auprès d'artisans locaux ont permis de préciser les propriétés des matériaux. La température de cuisson joue sur sa porosité et

⁶ Ministère de la solidarité et de la santé, mise à jour le 20 décembre 2021, Radon.

Lien : <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon>

⁷ Site officiel de l'administration française, Vérifié le 09 décembre 2020 - Direction de l'information légale et administrative (Premier ministre), Peut-on boire et cuisiner avec de l'eau de pluie ?

Lien : <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F31482>

⁸ June, 20 mars 2017, L'atelier des créateurs, Porcelaine, faïence, céramique... Quelle différence ? Lien : <https://www.latelierdescreateurs.com/blog/porcelaine-faïence-ceramique-difference/>

donc sa perméabilité. Il faut une température précise, il peut être dur de savoir pour un artisan quelle est la température exacte en tout point de son four.

2.3.2. Analyse de l'existant

Tutoriel Low Tech Lab⁹ :

L'objectif de ce filtre développé par l'Institut de recherche industrielle d'Amérique centrale (ICAITI) est d'améliorer la qualité de l'eau contaminée par des bactéries. Ce filtre est accessible de par son coût (30 US Dollar) mais est plutôt réservé à une fabrication en usine que pour un particulier.

Le principe réside dans la fabrication du pot. L'argile est mélangée avec des porosants (déchets combustibles comme des sciures de bois, paille, résidus de papeterie) et lors de la cuisson, la combustion du porosant rend alors la céramique perméable.¹⁰ Un brossage à l'argent empêche alors la prolifération de micro-organismes dans le filtre.

Autre exemple sur le même principe : Tutoriel FILTRON de l'entreprise MERINSA à Lima au Pérou¹¹

Cartouche pour réseau¹² :

Ce type de cartouche se place en amont d'un robinet directement sur le réseau (comme la cartouche de charbon actif sur laquelle nous travaillons). L'eau traverse les micro pores de la céramique, elle est donc filtrée mécaniquement. Le fabricant indique l'élimination des parasites, des bactéries pathogènes et de certains virus. Elle est conseillée par les fabricants en compléments d'autres systèmes sur le réseau comme par exemple une cartouche de charbon actif.

Billes céramiques¹³ :

⁹ Tutoriel Low Tech Lab, Filtre à eau céramique. Lien : https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Filtre_à_eau_céramique

¹⁰ Michel KORNMAN (2009), Matériaux de terre cuite - Matières de base et fabrication, *Techniques de l'Ingénieur*, pp. 6-7

¹¹ Tutorial Low Tech Lab, Filtre à eau en céramique. Lien : https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Filtre_à_eau_en_céramique

¹² Cartouche en Céramique, Diproclean. Lien : https://www.diproclean.com/cartouche-ceramique-filtre-eau-02microns-xml-472_390_445_300-1021.html

¹³ Tube de céramique, Cieléo. Lien : https://www.cieleo.com/s/38535_230185_ceramique-em-tubes?part=googleMC&gclid=Cj0KCQiAqbyNBhC2ARIsALDwAsCL4yPzIlwluBvmf7KmFMKE0HRGUhplfAGNfd4m0hA8abpEKAD00VsaAr_sEALw_wcB

On peut trouver que les billes permettent de neutraliser le calcaire, du chlore, les nitrates ou de l'ammonium. L'acidité de l'eau diminue et tend vers un pH neutre. Il est difficile d'être sûr de leurs réelles efficacités car on trouve peu de sources fiables. Il semble que l'utilisation première des billes serait l'amélioration du goût de l'eau potable.

Focus sur la marque Oyas¹⁴ :

Il s'agit d'un pot en terre cuite cuit à basse température et donc perméable. Il suffit de l'enterrer dans le sol et de le remplir d'eau. L'eau traverse lentement le pot et arrose les plantes. Nous cherchons à travailler avec eux pour étudier la filtration de l'eau passée au travers de la paroi en terre cuite. Un partenariat plus poussé pourrait nous permettre de comprendre leurs procédés de fabrication et pourquoi pas l'adapter à nos contraintes de perméabilité. Nous savons pour l'instant uniquement la provenance de la terre utilisée : deux carrières du nord de l'Espagne.



Pouvoir travailler avec des artisans locaux sur la conception d'un système de filtration en céramique serait idéal pour nous. Nous avons commencé à tisser des liens avec des potiers grenoblois dont certains sont très intéressés par le travail que nous menons. (Cf liste des contacts)

2.4. Tests sur le charbon des charbonniers

Pour tester si le charbon des charbonniers possédait des propriétés d'absorption, il nous a fallu faire quelques tests, qui ont plus ou moins marché. On vous présente ci-contre nos démarches.

2.4.1. Test avec des bandelettes

Pour avoir un premier aperçu de ce que peut absorber le charbon que nous avons, nous avons commandé des bandelettes permettant de déterminer certaines caractéristiques de l'eau, notamment la teneur en :

- Nitrate
- Nitrite
- Mercure
- Plomb
- Fer
- Cuivre
- Fluor
- Brome
- Chrome
- Racine carbonatée



¹⁴ Site Oyas : <https://www.oyas.eco/>

- Cyanure
- Chlore

- Une première idée fut de prendre de l'eau considérée comme "sale" (celle de l'Isère), et de la filtrer avec du charbon des charbonniers. Une analyse avec les bandelettes avant et après la filtration permet de voir quels éléments ont pu être filtrés par le charbon.

Résultats observés :



Bandelette eau de l'Isère



Bandelette eau de l'Isère filtrée par la cartouche

Nous observons qu'il est difficile de déterminer s'il existe une différence de composition entre les deux échantillons d'eau grâce aux bandelettes¹⁵. L'eau de l'Isère est en fait plutôt "propre" sans filtration, ne rendant pas évidente la caractérisation du pouvoir filtrant du charbon.

- Notre deuxième idée fut d'enrichir un échantillon d'eau de robinet (potable et possédant des caractéristiques assez neutres), en un certain élément détectable par les bandelettes. Pour cela, nous avons choisi tel élément et tel élément

¹⁵ Kateluo, Papier test de qualité de l'eau, Amazon. Lien :

https://www.amazon.fr/dp/B092JD3TSP/ref=redir_mobile_desktop?_encoding=UTF8&adId=20068202209401&id=4895247545319361&qualifier=1637100663&ref_=syn_sd_onsite_mobileweb_39&spPI=1&th=1&widget=sd_onsite_mobileweb

*Eau enrichie en fer**Eau enrichie en nitrate (avec de l'engrais)*

Mais il s'est avéré que sur toutes les tentatives pour enrichir l'eau par un quelconque élément, les bandelettes n'affichent toujours pas de résultats différents. Nous nous sommes rendu à l'évidence, que les bandelettes n'étaient pas du tout un outil d'analyse précis et qu'elles ne pouvaient pas nous aider pour nos tests.

2.4.2. Test d'analyses plus précis : Nitrates

En parallèle de nos tentatives d'analyse grâce aux bandelettes, nous avons réussi à contacter des professeurs de l'école (Philippe Séchet et Julien Nemery) spécialisés dans le traitement de l'eau, pour nous permettre de réaliser des analyses plus précises sur les propriétés de filtration de notre charbon.

Nous avons effectué un premier test en spectrophotométrie, nous permettant de calculer la concentration de nitrate, avant et après la filtration pour du charbon de l'eau. La deuxième expérience se ferait sur la détection de bactéries dans de l'eau. [\[Voir protocole des bactéries en annexe\]](#)

Matériel :

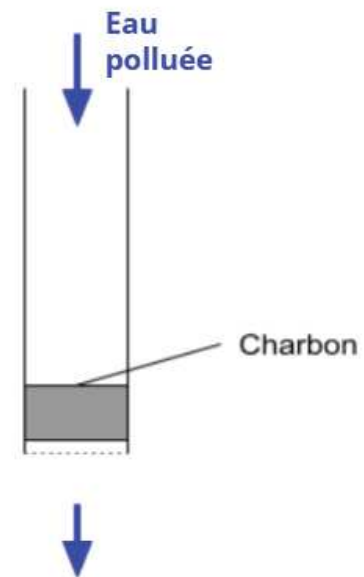
- Solution étalon de NO_3^- concentrée à 1000 mg/L
- Un système de filtration à travers lequel peut s'écouler l'eau en passant à travers le charbon
- Eau distillée
- Une dizaine de gramme de charbon
- L'ensemble des éléments requis pour le fonctionnement du spectrophotomètre utilisé
- 3 béchers, 2 fioles jaugées (500 et 1000 ml), une éprouvette graduée (250 ml)

Le protocole :

- Fabrication de la cartouche (avec photos) :



Cartouche en PE



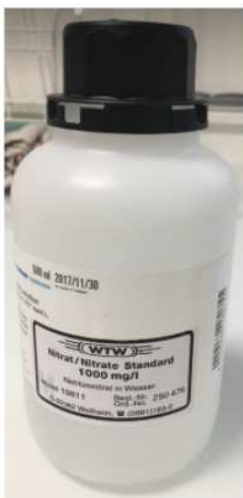
Système de filtration

La cartouche est fabriquée à partir d'un tube de PE (polyéthylène) dans lequel on dépose 6 grammes de charbon.

- Préparation de l'eau polluée à différentes concentrations :

On prépare une solution mère avec l'étalon de NO_3^- que l'on décline en trois fois 0,5 L de concentrations différentes : 75 mg/L, 50 mg/L et 25 mg/L.

- Filtration de l'eau polluée :



Solution étalon concentrée à 1000 mg/L



Préparation des solution à différentes concentrations

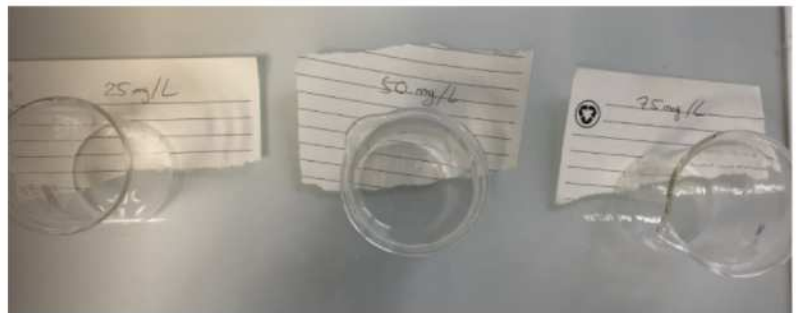


On fait ensuite passer l'eau contaminée dans la cartouche. L'eau traverse le charbon actif et on en récupère une partie (laisser couler la majeure partie du demi litre avant de prélever) ensuite destinée à être analysée.

Bien rincer la cartouche à l'eau entre chaque filtration.

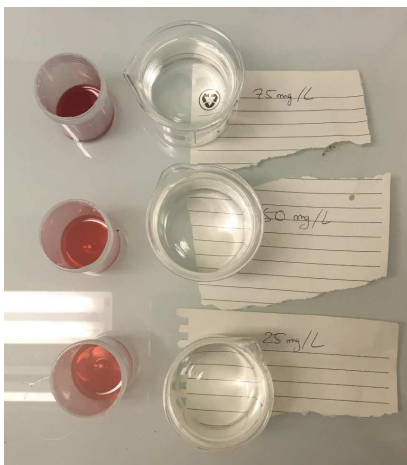


Filtration de l'eau dans la cartouche



Échantillons d'eau filtrée

- Analyse de la concentration en NO_3^- de l'eau filtrée grâce au spectrophotomètre.



Échantillons préparés selon le protocole



Résultats affichés par le spectrophotomètre

Protocole d'utilisation du spectrophotomètre :

Nitrates			114773
			Test
Domaine de mesure:	0,5 – 20,0 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$	2,2 – 88,5 mg/l NO_3	cuve de 10 mm
	0,2 – 10,0 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$	0,9 – 44,3 mg/l NO_3	cuve de 20 mm
Indication du résultat également possible en mmol/l.			



Verser 1 microcuiller bleue arasée de $\text{NO}_3\text{-1}$ dans un tube vide (tubes vides, art. 114724) et sèche.



Ajouter 5,0 ml $\text{NO}_3\text{-2}$ à la pipette et fermer avec le bouchon fileté.



Agiter vigoureusement le tube pendant **1 minute** pour dissoudre la substance solide.



Ajouter 1,5 ml d'échantillon à la pipette lentement, fermer avec le bouchon fileté et mélanger **brèvement**. **Attention, le tube devient brûlant.**



Temps de réaction: 10 minutes



Transvaser la solution dans la cuve rectangulaire souhaitée.



Sélectionner la méthode avec l'AutoSelector.



Placer la cuve dans le compartiment.

Remarque:

Des tubes vides, art. 114724, sont recommandées pour la prise d'essai. Ces cuves peuvent être fermées avec le bouchon fileté, ce qui permet de mélanger sans danger.

Assurance de la qualité:

Pour le contrôle du système de mesure (réactifs-test, dispositif de mesure, manipulation), on peut utiliser Spectroquant® CombiCheck 10 et 20, art. 114676 et art. 114675, ou la solution étalon pour applications photométriques, CRM, art. 125036, 125037 et 125038.

On peut également utiliser la solution étalon de nitrates prête à l'emploi Certipur®, art. 119811, concentration 1000 mg/l de NO_3 , après dilution appropriée.

Les effets de matrice peuvent être déterminés au moyen de solutions additives (p. ex. du CombiCheck).

- Résultats :

Concentration initiale de NO ₃ - [mg/L]	Concentration finale de NO ₃ - [mg/L]
75 (<i>dangereux</i>)	67,6
50 (<i>seuil maximal pour consommation</i>)	37,6
25 (<i>seuil d'alerte</i>)	19,9

Résultats de la filtration après contamination aux nitrates (cartouche humide)

On constate une baisse de la concentration en NO_3^- dans chacun des cas. En revanche, cette filtration ne permet pas de diminuer suffisamment pour passer d'un taux dangereux à une concentration acceptable pour la consommation.

2ème séries de tests nitrates :

Afin de confirmer la tendance observée dans les premiers tests, nous voulons réitérer l'expérimentation. Une des causes qui pouvait expliquer cette diminution des nitrates dans l'eau filtrée pouvait être une dilution au niveau du charbon actif humide car rincé entre chaque filtration. Même si nous avons pris les précautions nécessaires, il était intéressant de reprendre une expérimentation avec des cartouches de charbon sec pour confirmer les résultats précédents. Le protocole est donc le même que le précédent en changeant le charbon dans la cartouche et sans l'humidifier préalablement.

Résultats :

Concentration initiale de NO ₃ - [mg/L]	Concentration finale de NO ₃ - [mg/L]
75 (<i>dangereux</i>)	65,4
50 (<i>seuil maximal pour consommation</i>)	42
25 (<i>seuil d'alerte</i>)	6,2

Résultats de la filtration après contamination au nitrates (3 cartouches différentes et sèches)

La tendance est donc confirmée mais les résultats ne permettent pas de quantifier réellement la diminution de la concentration car nous ne parvenons pas à expliquer les différences de diminution de concentration que nous pouvons observer.

A l'avenir, il serait intéressant de refaire ces tests afin de pouvoir dégager une diminution de la concentration moyenne. Nous pourrions aussi faire ces tests en faisant varier la quantité de charbon dans la cartouche voir même filtrer l'eau avec autre chose que du charbon pour être sûr qu'il est bien la raison de la diminution des nitrates.

2.4.3. Test sur la durabilité des propriétés d'absorption du charbon

Notre première volonté fut de tester l'efficacité de la filtration au charbon en fonction de la quantité d'eau filtrée. Nous voulions avoir une idée plus précise de la quantité d'eau pouvant être filtrée par une quantité de charbon donnée car c'était également un questionnement des utilisateurs de savoir combien de temps une cartouche peut rester efficace. Cependant, nous avons été confrontés à une problématique logistique quant à la quantité extrêmement importante d'eau sale à filtrer et aux bandelettes tests peu fiables.

Nous proposons ici un protocole très rudimentaire destiné à toute personne volontaire à l'amélioration des connaissances sur la durabilité de la filtration à partir du charbon des charbonniers et ayant accès à ce matériel :

- Une quantité de charbon des Charbonniers permettant de remplir une cartouche rechargeable (environ 200 gr sec).
- Un système de filtration à ajouter à un réseau d'eau, avec un porte cartouche et une cartouche rechargeable.
- Une réserve d'eau importante (récupérateur d'eau de pluie par exemple).
- Un accès à un spectrophotomètre et aux matériels nécessaires pour réaliser un test sur un polluant. ([Voir protocole test nitrates](#))

Les étapes et valeurs sont à titre indicatif et nécessitent d'être approfondies.

Protocole durabilité :

- 1) Tester en amont la cartouche remplie d'une quantité X de charbon des charbonniers à peser. Pour cela, il fait refaire le test sur les nitrates ([Voir protocole test nitrates](#)). En contaminant 1 L d'eau avec des nitrates pour obtenir une eau contenant au moins 50 mg/L de NO_3^- , pour la filtrer avec la cartouche et ensuite mesurer la concentration de nitrate dans l'eau à l'aide d'un spectrophotomètre.
- 2) Installer un système de filtration d'eau, avec un porte cartouche et la cartouche testée et l'installer en aval d'une réserve d'eau. (Entre un récupérateur et un système d'arrosage par exemple)
- 3) Utiliser régulièrement l'eau filtrée par la cartouche. Il est important de suivre et relever la quantité d'eau qui la traverse.
- 4) Au bout de 2000L de litre d'eau, faire une nouvelle fois le test sur les nitrates avec la cartouche déjà bien utilisée. Il faut donc contaminer de nouveau une eau en nitrate, la

filtrer par la cartouche utilisée, puis mesurer la concentration restante de nitrate dans l'eau à l'aide du spectrophotomètre.

- 5) Comparer les 2 mesures faites au spectro à l'état initial et l'état avancé de la cartouche, pour voir si la capacité du charbon à filtrer a diminué.
- 6) Continuer d'utiliser la cartouche et de recueillir les quantités d'eau filtrée.
- 7) Refaire un test nitrate au spectrophotomètre. Et comparer les résultats de chaque test pour voir si le charbon est encore utile pour filtrer.
- 8) Répéter les tests sur les nitrates jusqu'à ce que le test donne que la concentration de nitrate dans l'eau filtrée soit égale à la concentration initialement mise dans l'eau. Cela signifie que le charbon est saturé et qu'il ne peut plus suivre pour filtrer.

Idéalement, il faudrait faire un test de ce type chaque 2000L d'eau. Certains constructeurs indiquent approximativement une durabilité de 10000L ou 20000L pour une cartouche de taille standard (9 ¾). On devrait alors constater une diminution de la capacité d'adsorption du charbon autour de ces valeurs.

Cartouche rechargeable

3.1. Etat de l'art

Pour l'analyse de l'existant, nous avons recensé plusieurs modèles de filtres qui utilisent du charbon actif/ biochar / charbon végétal.

Nous avons trouvé trois modèles différents sur le marché:

3.1.1. Filtration par gravitation

C'est le fonctionnement des filtres de type Berkey®¹⁶ : L'eau passe d'un réservoir supérieur à un réservoir inférieur à travers une (ou plusieurs) cartouche(s) de charbon. Ce processus est lent (6 à 7 L/h) et ne convient donc pas à toutes les utilisations. De plus, les filtres Berkey sont chers, puisque les entrées de gammes sont à plus de 450€. Berkey® a breveté sa solution, ce qui oblige les consommateurs à changer leurs cartouches chez Berkey®.

3.1.2. Fixation sur robinet

Pour cette solution, l'installation est plus rapide et plus simple mais la cartouche est de plus petite taille. Dans les produits existants, les retours des utilisateurs sont très mitigés. Certains témoignent de problèmes liés à un débit trop faible, d'autres remontent que le système est de qualité médiocre et que le filtre se détache du robinet.



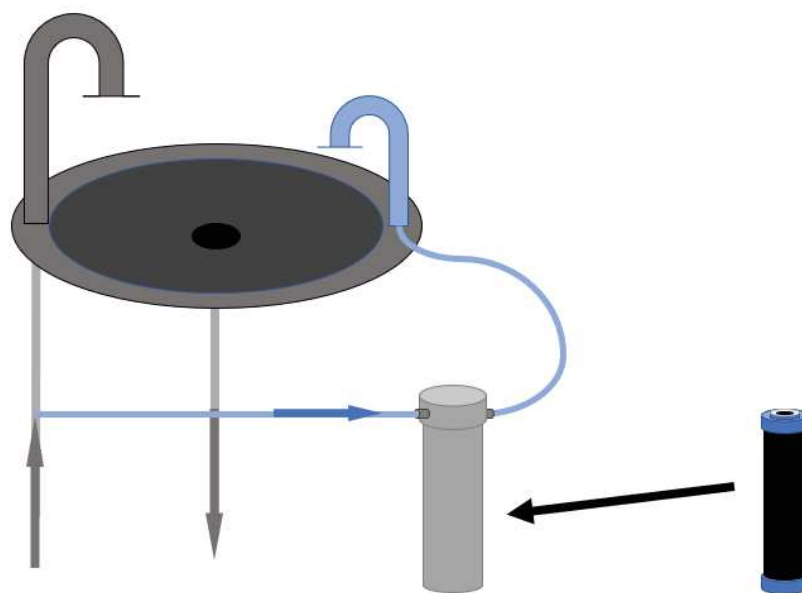
¹⁶ Entreprise Berkey®, Purificateur d'eau Berkey®. Lien : <https://berkey-store.com/fr/filtres-berkey/2-694-filtre-a-eau-travel-berkey.html>

D'un point de vue technique, cette solution semble être d'une qualité douteuse, et elle soulève effectivement des questions sur sa réelle utilité et sur le fait qu'elle filtre effectivement l'eau. En effet, dû à la petite taille du système, l'eau n'est pas très longtemps en contact avec les produits filtrants.



3.1.3. Branchement au réseau

Cette dernière solution est la plus lourde en termes d'installation. Le filtre est branché au réseau et permet l'ouverture d'un deuxième robinet. Elle donne ainsi le choix à l'utilisateur qui, selon son usage, peut choisir l'eau filtrée ou celle qui ne l'est pas. Dans ce cas, la cartouche est du charbon compacté, et l'installation accepte un débit plus important.



Hydropure®¹⁷, une société qui développe cette gamme de produits annonce une purification très efficace¹⁸ :

Paramètre	Réduction	
Bactéries: * Escheria coli, Enterococcus faecalis, Staphylocoque aureus, Staphylocoque haemolyticus, Enterobacter cloacae, Pseudomonas aeruginosa, Bacille subtilis	> 99,9%	GFT / Université de Bielefeld
Micro-organismes : * Entamoeba coli, Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum, Hymenolepis nana, Schistosoma mansoni, Ascaris suum	> 99,9%	
Champignons / Levures : * Candida albicans, Rhodotorula mucilaginosa, Saccharomyces cerevisiae	> 99,9%	
Plomb **	> 90%	TÜV
Cuivre **	> 90%	
Chlore **	> 99%	Université de Magdeburg
* Essai sur 6 mois (durée d'utilisation recommandée) ** Essai sur 10000 litres (capacité nominale) Le TÜV Rhénanie/Berlin-Brandenburg certifie que ces résultats d'expertise sont tous valables et sûrs et correspondent aux propriétés réelles de la cartouche		

¹⁷ Entreprise Hydropure®, Cartouche HYDROPURE XM Standart. Lien : <https://hydropure.fr/Produit%20de%20base/cartouche-hydropure-xm-standard-93-4/>

¹⁸ Entreprise Hydropure®, Capacité de filtration Hydropure. Lien : <https://hydropure.fr/Produit%20de%20base/filtre-sous-evier-hydropure-eco-cartouche-emx/>

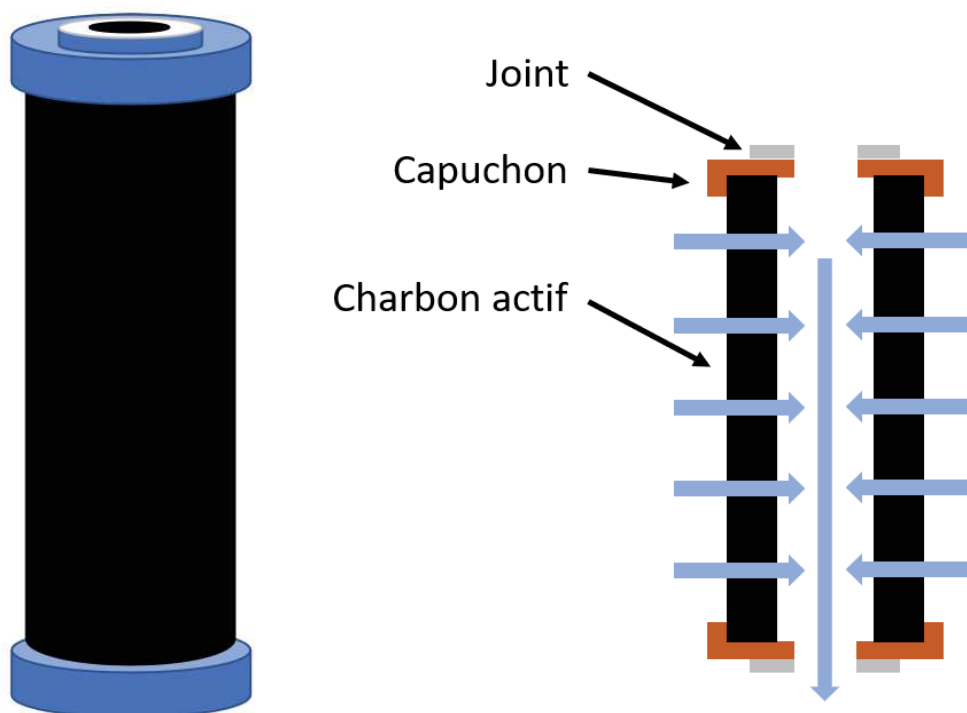
3.2. Hypothèses et démarches de conception

Pour concevoir notre propre cartouche filtrante, nous avons commencé par étudier l'existant pour répondre à la problématique de notre porteur de projet : "créer une cartouche **simple, rechargeable et adaptable** à une majorité de systèmes".

Nous avons alors abandonné l'idée de cartouche adaptable à une fixation directe sur robinet, car les tailles des filtres et les tailles des cartouches ne sont pas comparables. **Nous nous sommes alors penchés sur les filtres Berkey® et les filtres réseau (type Hydropure®).**

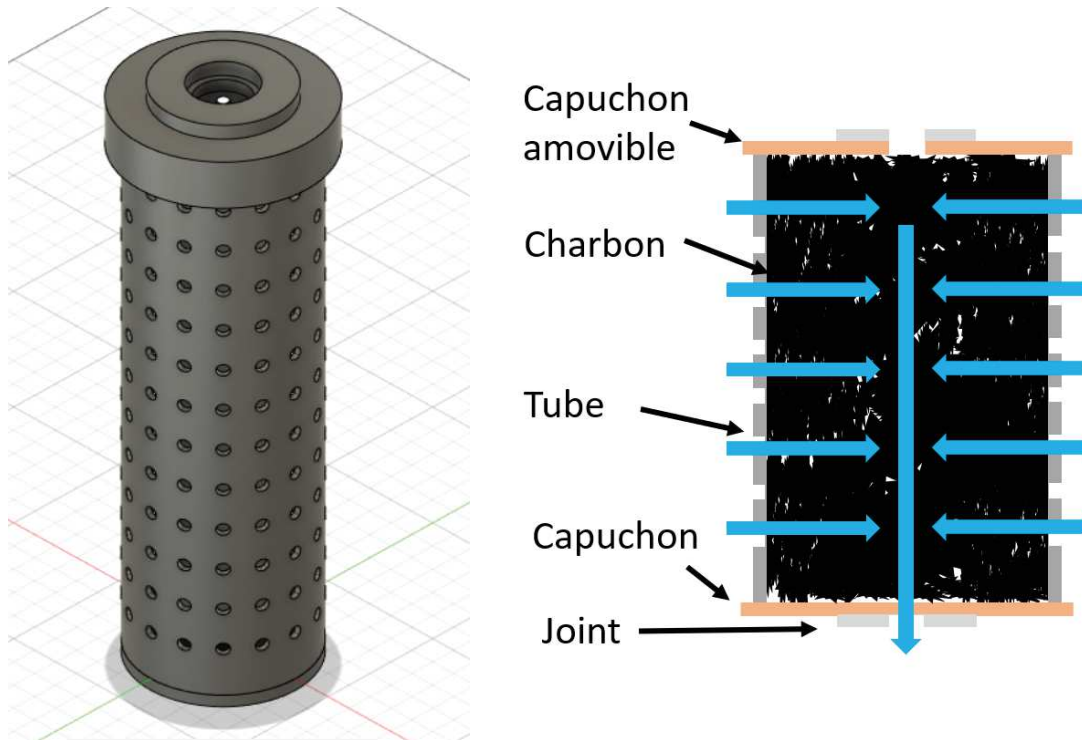
L'avantage de se concentrer sur ses deux systèmes, est que le dimensionnement de notre cartouche peut être adapté aux deux solutions. Pour un filtre Berkey, la cartouche ne doit pas nécessairement faire la même taille que les cartouches vendues par l'entreprise : en effet, comme le filtre fonctionne en gravitaire, il suffit que l'embouchure de sortie de cartouche soit respectée et que les dimensions de la cartouche ne dépassent pas celles du filtre.

Nous sommes donc partis d'une cartouche Hydropure®, qui est une **cartouche standard 9 3/4¹⁹**. Elle est construite presque exclusivement avec du charbon compacté et fonctionne selon le principe suivant:



L'idée a alors été de concevoir un récipient qui puisse contenir le charbon et filtrer l'eau. Nous avons donc suivi les dimensions de la cartouche hydropure pour concevoir la cartouche.

¹⁹ Entreprise Hydropure®, Cartouche HYDROPURE XM Standart. Lien : <https://hydropure.fr/Produit%20de%20base/cartouche-hydropure-xm-standard-93-4/>



Notre démarche de conception nous a amené à réfléchir à un récipient creux, pouvant contenir du biochar. Nous avons donc imaginé un cylindre creux, percé de petits trous, et couvert par deux capuchons aux extrémités dont l'un pouvait être amovible. Nous avons alors réalisé que l'enjeu résiderait dans la fermeture et le caractère rechargeable de la cartouche, car nous souhaitions éviter l'utilisation d'une machine à fileter.

3.3. Conception finale

Pour respecter le besoin de l'association Culture Ailleurs de construire une cartouche **durable et locale**, nous avons imaginé la possibilité de faire construire des cartouches par des ferronniers ou des potiers, tout en maintenant la possibilité de la créer soi-même. Nous sommes donc arrivés à la conclusion suivante :

Manipuler ou transformer du métal et de l'argile demande des compétences et/ou du matériel spécifique, dont tout le monde n'a pas accès. L'idée est donc d'orienter la création de la cartouche suivant deux axes :

- En plastique alimentaire, accessible, en Low-tech et qui puisse être créée par l'utilisateur avec un minimum de matériel.
- En métal ou poterie, créée par un artisan local.

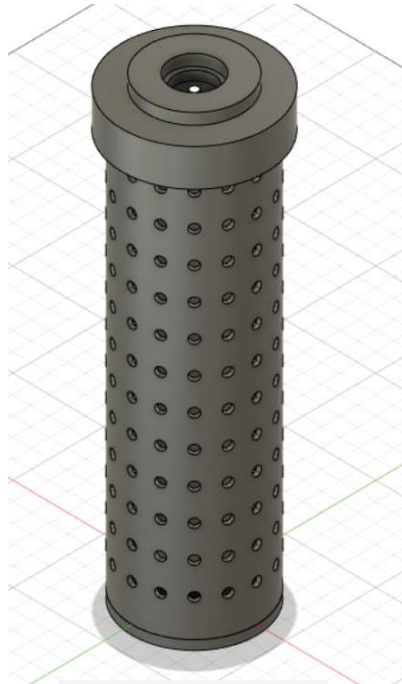
Nous sommes donc arrivés à 3 modèles différents de conception :

- en acier inoxydable
- en polyéthylène alimentaire

- en argile

3.3.1. Conception cartouche en acier inox

Construite par un ferronnier à partir d'une plaque en acier inoxydable. La plaque sera tournée et deux capuchons seront créés en métal. Le ferronnier créera un filetage sur le corps de la cartouche, et sur l'intérieur du capuchon, pour s'assurer qu'on puisse ouvrir et fermer la cartouche ; et ainsi la recharger. Enfin des trous seront créés sur le corps de la cartouche pour laisser l'eau couler.

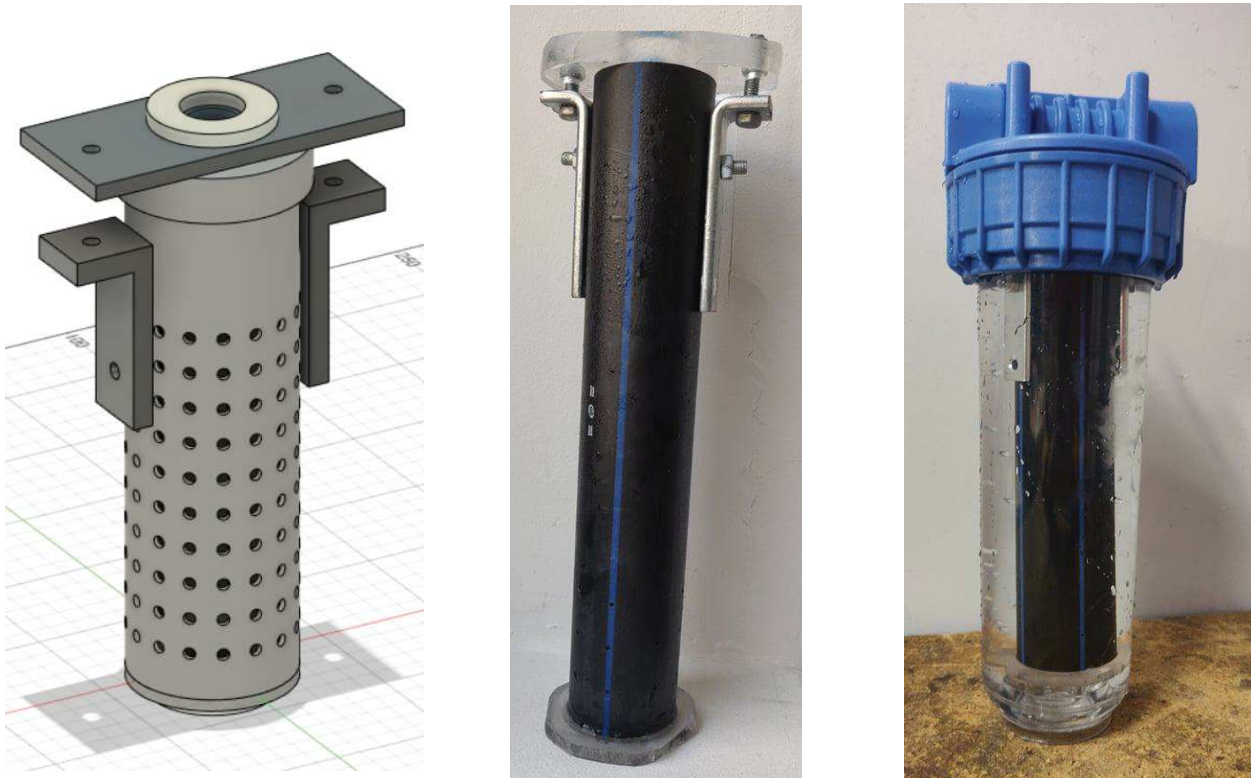


3.3.2. Conception cartouche en PE alimentaire

A partir de la récupération de tuyaux en polyéthylène alimentaire, (ou à partir de l'achat de ces derniers), nous avons construit une cartouche rechargeable avec un minimum de matériel. Le protocole de construction est disponible dans le dossier du projet à ce lien :

https://pad.lescommuns.org/Protocole_cartouche

Voici notre prototype de cartouche rechargeable :



3.3.3. Conception cartouche en argile

Lors du projet, nous avons souvent été amenés à discuter d'une potentielle cartouche en poterie, car l'argile peut être utilisée, comme nous l'avons vu précédemment, comme un filtre mécanique. Nous en avons donc conclu que l'association de l'argile et du charbon permettrait d'obtenir un bon filtre à eau. Après discussions avec Oya (potier.e de Montpellier), et un potier de Grenoble, nous avons convenu de la possibilité de créer une cartouche en poterie. Il existe actuellement un filtre en argile fabriqué par l'organisation Potters for Peace²⁰ du nom de Filtron. Il est fabriqué à partir d'argile poreuse enrichi d'argent colloïdal, empêchant le développement de bactéries dans le filtre. Le Filtron peut filtrer 2L d'eau par heure et permet d'éliminer particules et bactéries. Selon la taille du container en plastique, il est possible d'y stocker 10L d'eau filtrée. Le filtre convient donc à une utilisation résidentielle.

L'intérêt d'un tel type de filtre, tout comme le charbon fait par les charbonniers du Trièves, est de pouvoir valoriser des ressources et déchets locaux lors de la fabrication du filtre. Il possède l'avantage d'avoir un entretien assez basique (nettoyage à l'éponge 1 fois par semaine), et possède une durée de vie de plusieurs années.

²⁰ Site Potters for Peace [consultée le 14 décembre 2021] <https://www.pottersforpeace.org/>



Reproduction d'un filtre à argile de type Filtron

Les seuls inconvénients d'un filtre de ce type sont l'utilisation d'argent qui n'est pas une ressource simple d'accès, mais également l'utilisation d'un four atteignant les 1000°C pour la cuisson de l'argile.

Analyse de cycle de vie de la cartouche rechargeable

Comparaison de trois scénarii :

- Cartouche en acier inoxydable (ou équivalent)
- Cartouche en polyéthylène alimentaire
- Cartouche en argile

4.1. Hypothèses et données:

4.1.1. Cartouche acier inoxydable

- Matériaux pour une cartouche :

Partie	Matériaux	Quantité (g)	Provenance
Corps	Acier inoxydable	881	

Capuchon	Acier inoxydable	438	Chine ²¹
----------	------------------	-----	---------------------

- Phase de production
 - Transport des matériaux jusqu'au ferronnier
 - Cartouche fabriquée par un ferronnier à Grenoble en France
 - Utilisation de machine outils et d'une machine à souder (basse tension)
- Phase d'utilisation
 - Cartouche transportée en voiture du ferronnier au particulier
 - Utilisation pendant 100 ans (temps d'usage de l'acier inoxydable dans l'eau)
 - Changements occasionnels et nettoyage des joints

4.1.2. Cartouche en polyéthylène alimentaire

- Matériaux pour une cartouche :

Partie	Matériaux	Quantité (g)	Provenance
Corps	Polyéthylène HD	104,832	Grenoble
Capuchon	Polyéthylène HD	52,088	Grenoble
Equerre	Acier inox	128	Chine
Boulon-écrou	Acier inox	50	Chine
Plaque	Acier inox	122	Chine

- Phase de fabrication
 - Transport en voiture chez le particulier des matériaux (provenant d'un magasin au centre de Grenoble)

²¹ Site WorldSteel Association : Production d'acier par pays.
https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/annual-production-steel-data/P1_crude_steel_total_public/CHN/IND

- Utilisation d'une meuleuse et perceuse (basse tension)
- **2 scénarii :**
 - **Récupération de polyéthylène usagé**
 - **Achat de polyéthylène neuf**

- Phase d'utilisation
 - Utilisation pendant 100 ans (durée de vie du PE)²²
 - Changements occasionnels et nettoyage des joints

4.1.3. Cartouche en argile

- Phase de production
 - **4 scénarii :**

Partie	Matériaux	Quantité (kg)	Provenance	Localisation Potier
Corps	Argile	1 kg d'argile	Triève	Grenoble
Corps	Argile	1 kg d'argile	Triève	Montpellier (OYA)
Corps	Argile	1 kg d'argile	Espagne (camion)	Grenoble
Corps	Argile	1 kg d'argile	Espagne (camion)	Montpellier (OYA)

- Utilisation d'un four à gaz pendant 1h

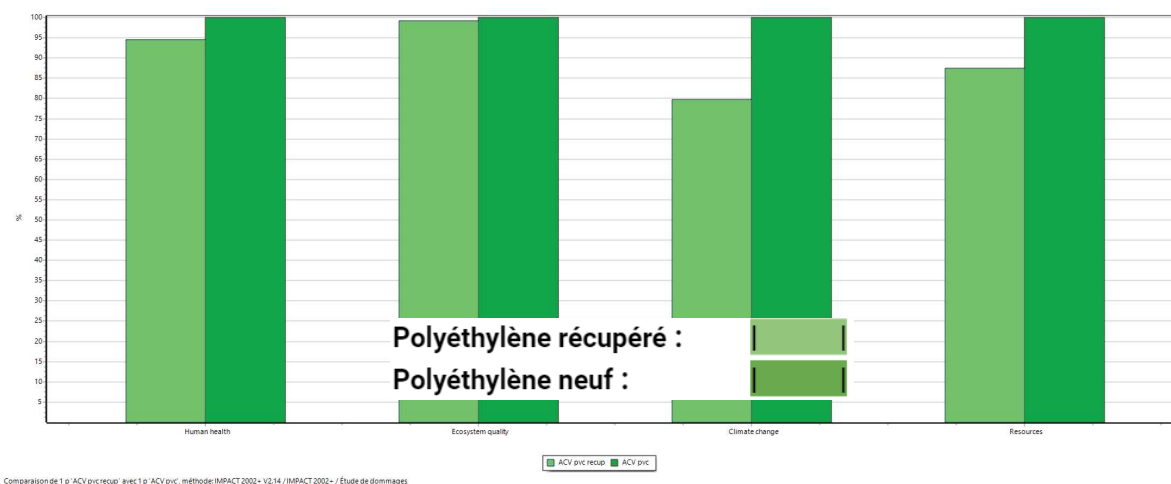
- Phase d'utilisation
 - Transport en voiture jusqu'au particulier (à Grenoble)
 - Utilisation pendant 10 ans (durée de vie de l'argile dans l'eau)
 - Changements occasionnels et nettoyage des joints

²² Site de Artis Groupe, Durée de vie du Polyéthylène,
<https://www.artis-groupe.fr/blog/polyethylene-inconvenients>

4.2. Résultats

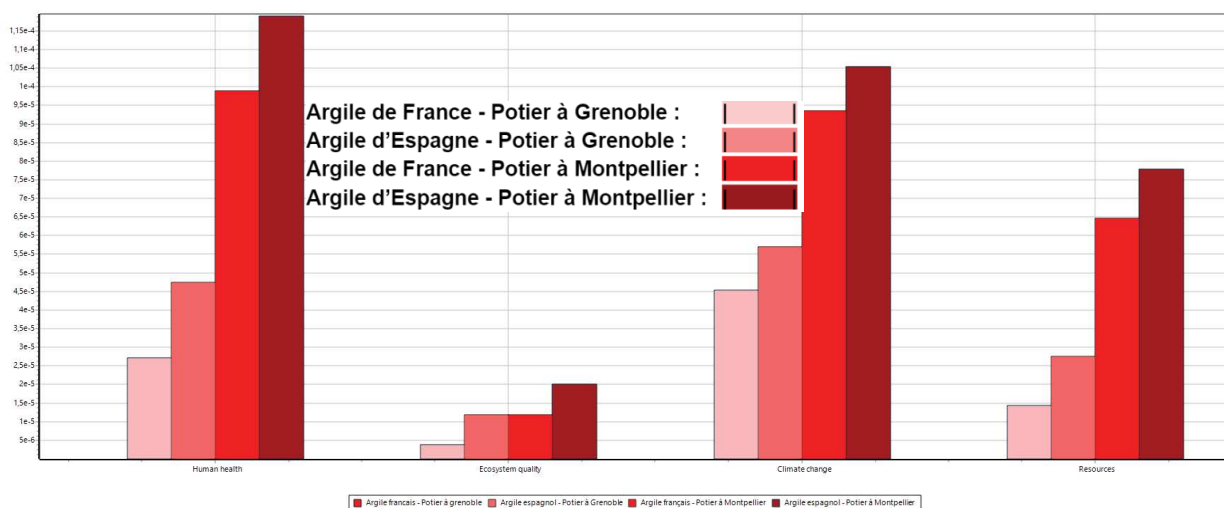
4.2.1. Impact des matériaux utilisés

La cartouche aura un impact environnemental réduit si elle est construite avec des matériaux de récupération.



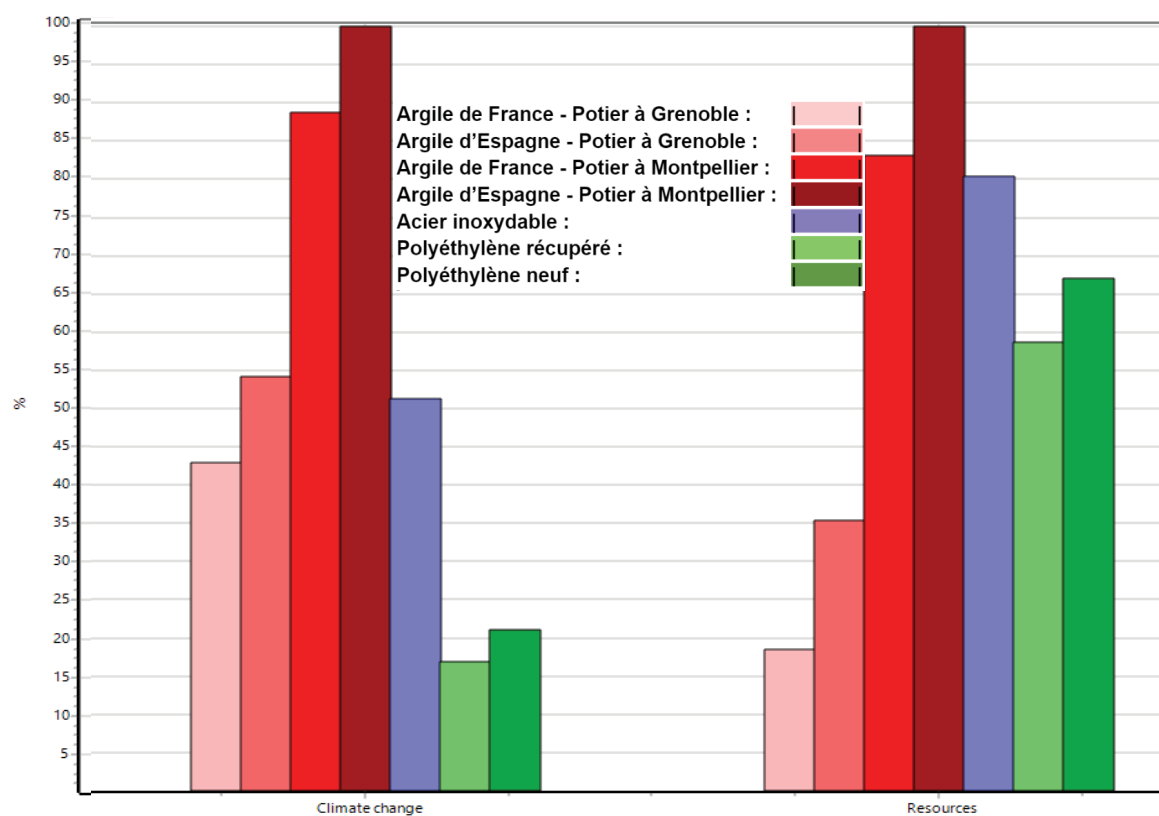
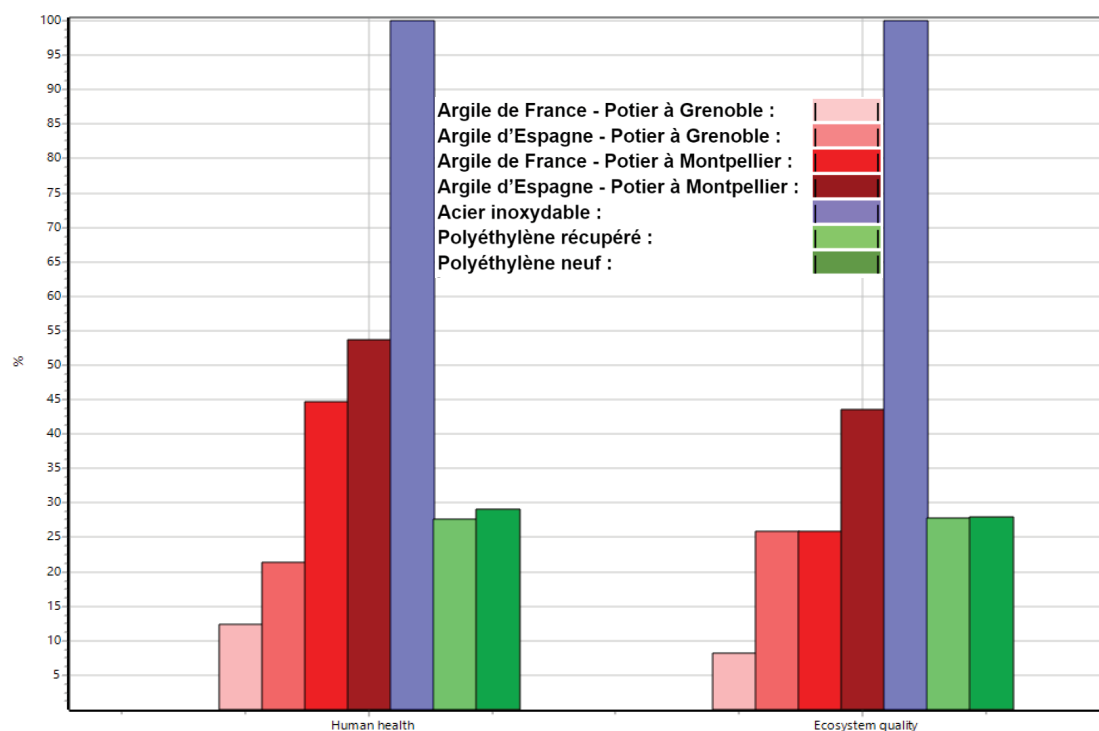
4.2.2. Impact du transport

On peut aisément voir que plus la part de transport diminue, plus l'impact sur l'environnement, sur l'écosystème et sur la santé humaine est faible.



4.2.3. Analyse de l'ACV

Pour rappel, pour étudier le même système, nous avons dû prendre 10 cartouches en argile, pour 1 cartouche en acier et 1 cartouche en PE, car une cartouche d'argile est utilisable 10 fois moins longtemps qu'une cartouche d'acier ou de PE.



D'un point de vue changement climatique et utilisation des ressources, les résultats diffèrent selon la provenance de l'argile et de la cartouche en argile. Effectivement, si l'on prend de l'argile d'Espagne, et une cartouche construite à Montpellier, les transports routiers représenteront une grande part du bilan carbone, qui dépasse alors celui du métal. Si l'on prend de l'argile français et un potier local, cet impact est réduit.

D'un point de vue impact sur la santé et qualité de l'écosystème, il était à prévoir que l'utilisation d'acier, provenant de mines en Asie (essentiellement Chine) allait avoir un impact important. Cela est explicable par le fait que la production d'électricité chinoise est en grande partie due à l'utilisation de charbon ; électricité qui est nécessaire pour extraire le métal des mines.

4.3. Conclusions

Ces résultats sont des estimations et bien entendu, ils seront différents si on modifie les hypothèses. Aussi, les conclusions et choix diffèrent selon nos priorités :

Par exemple : en termes de bilan carbone, nos cartouches en argile auront un impact parfois plus important que la cartouche en métal. Au contraire, si on prend l'impact sur la santé humaine, la cartouche en métal sera bien pire.

De manière générale, nous ne pouvons que conseiller d'utiliser des **matériaux locaux**, et de récupération pour diminuer l'impact. Aussi, un **artisan local** est vivement conseillé, car les transports représentent bien souvent la majeure partie des impacts. Du point de vue des matériaux, **les métaux auront un impact environnemental plus important que celui du plastique ou de l'argile**. Aussi, nous aimerions attirer l'attention sur le fait que l'outil ACV présente plusieurs limites, comme par exemple le fait qu'on ne puisse pas retranscrire les bénéfices d'un tel projet.

ANNEXES

Protocole sur les bactéries

Bactéries à tester :

- Escherichia coli (E. coli)
- Enterococci
- Pseudomonas aeruginosa

1ère étape : Création d'une culture de bactérie

<https://fr.wikihow.com/faire-croître-des-bactéries-dans-une-boîte-de-Petri>

Pour trouver une souche de bactérie -> P. Séchet peut aider, il préconise d'aller sur : prolabo, sodipro, fischer...

Matériel :

- Poudre d'agar agar
- Eau chaude
- Boîte de pétri
- Ensemenceurs stériles (Jetables à usage unique ou réutilisables stérilisés)
- Bac contenant de la javel
- Alcool à 60°
- Bec bunsen ou bec électrique
- Souche de bactérie
- Etuve à 37°C

Protocole :

- Commencer par préparer la boîte de pétri : prendre 1,2 g d'agar agar (environ la moitié d'une cuillère à café) pour chaque 10 cm de boîte de pétri utilisé. Le mélanger à 60 ml d'eau chaude (environ $\frac{1}{4}$ de tasse).
Mettre le tout au micro-onde et faire bouillir pendant une minute (continuer à observer pour s'assurer que la solution d'agar-agar ne déborde pas). Lorsque la solution est prête, la poudre d'agar-agar doit être complètement dissoute et le liquide doit être clair. Laissez la solution d'agar-agar refroidir, puis l'insérer dans la boîte de pétri bien stérilisée.
- Identifier les boîtes de pétri au marqueur indélébile.
- Nettoyer la paillasse à l'alcool ou à l'eau de javel.
- Allumer le bec bunsen (ou le bec électrique) dans un rayon de 30 cm autour de la boîte de pétri.
- Se laver les mains à l'alcool en prenant garde de se tenir éloigné de la source de chaleur (risque d'inflammation).
- Ensemencer la boîte de pétri à l'aide d'un ensemenceur.

- Placer immédiatement l'ensemenceur dans la javel.
- Refermer la boîte de pétri (on peut s'aider de scotch).
- Placés en étuve, couvercle vers le bas.
- Laissez les bactéries se développer pendant 4 à 6 jours, ce qui est le temps nécessaire pour le développement des cultures.

2ème étape : Contamination de l'eau avec les bactéries

Pour qu'une eau ne soit pas considérée comme potable il faut que le nombre de colonies (à 22°C) dépasse 100 colonies/mL (source OMS).

Afin de préparer 1L d'eau non potable d'un point de vue bactériologique, il faut contaminer 1L d'eau avec les bactéries créées.

Il faut donc mettre les bactéries dans un litre d'eau à une température entre 25 et 55°C, et laisser le milieu se développer pendant 4 à 6 jours.

Remarque : Pensez à bien laver la boîte de petri qui contient les bactéries avec de l'eau de javel.

3ème étape : Tester l'eau contaminée

<https://www.bioutils.ch/protocoles/13-analyse-de-leau>

- Prélever un échantillon d'eau contaminée dans un flacon stérilisé.
- Prélever 200 µL d'eau à analyser et étaler au râteau sur un milieu PCA. Pour la méthode d'étalement au râteau vous pouvez visualiser l'explication en cliquant sur le lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=Px-IVzpTGzo>.
- Si l'eau contient beaucoup de germes, il sera difficile de les dénombrer. Afin de s'assurer d'avoir un nombre de colonies comptables, prenez une deuxième boîte PCA et étalez 10 µL comme précédemment.
- Incuber les boîtes à l'envers et à température ambiante pendant 4-5 jours.
- Compter le nombre de colonies et rapporter le résultat par mL.
- L'absence de colonie ne signifie pas que l'eau est stérile. Le résultat sera l'absence de GAM dans 10 ou 200 µL d'eau. Leur concentration peut être inférieure à la limite de détection, ou certains germes peuvent ne pas pousser dans ces conditions.

Si vous n'atteignez pas 100 colonies par ml, il faut ajouter de nouveau des bactéries et répéter le protocole.

4ème étape : Test de la filtration

Une fois que l'eau est contaminée et qu'elle contient un nombre de colonies de plus de 100/ml, on peut la filtrer avec notre filtre à biochar.

Prélever un échantillon d'eau filtrée.

Et refaire le test pour savoir si l'eau est toujours contaminée (soit si elle possède moins de 100 colonies par ml).

Protocole de construction de la cartouche



Matériel nécessaire :

Assurez vous de construire la cartouche avec des **matières 100% adaptées pour de l'alimentaire**. L'idée est d'améliorer la qualité de l'eau. Pas de la détériorer.

- Tuyau de polyéthylène alimentaire
- 4 écrous et 4 boulons en acier inoxydable
- 2 équerres en acier inoxydable
- 1 plaque d'acier inoxydable (épaisse) [capuchon]
- 2 joints
- 1 plaque d'acier inoxydable [fond]

Outils nécessaires:

Perceuse

Forets à métaux

(Disqueuse / meuleuse)

(Disques à métaux)

Lime

Pinces

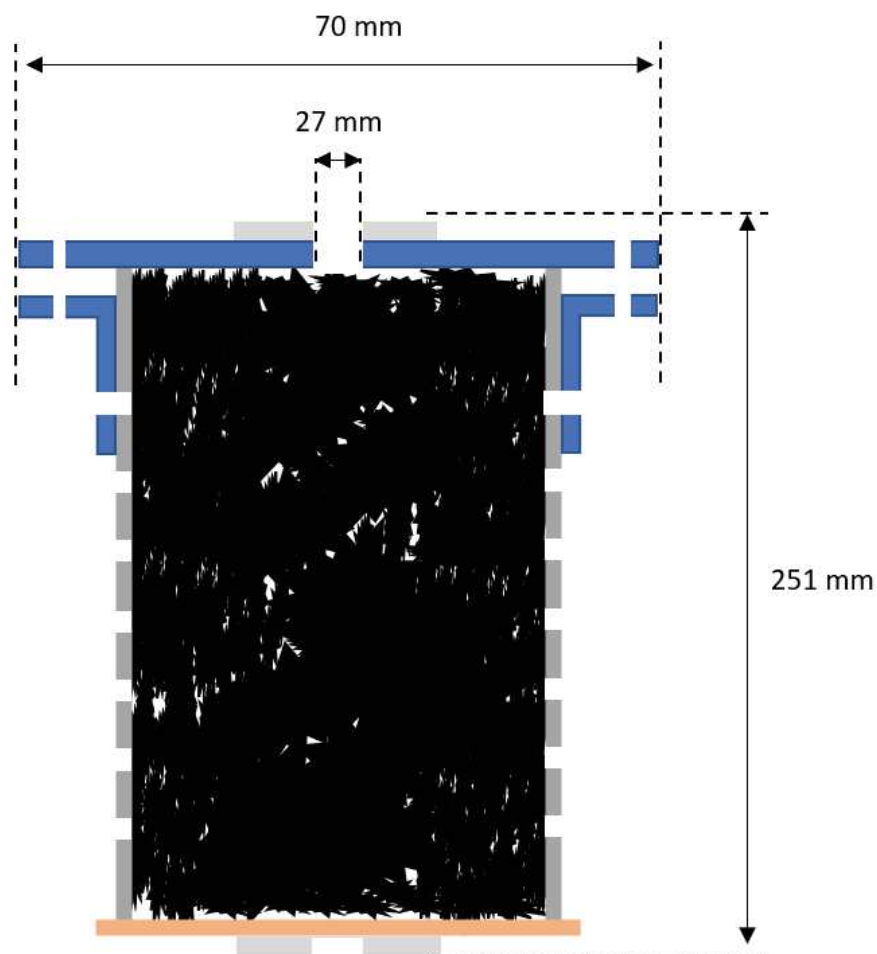
Clef à molettes x2

Serre-joint

Scie à métaux

Calcul des dimensions

Voici un schéma de la construction de la cartouche. **La cartouche ne devra pas excéder les dimensions indiquées. Nous avons obtenu ces dimensions en mesurant une cartouche existante.**



Mesure de la longueur du tube

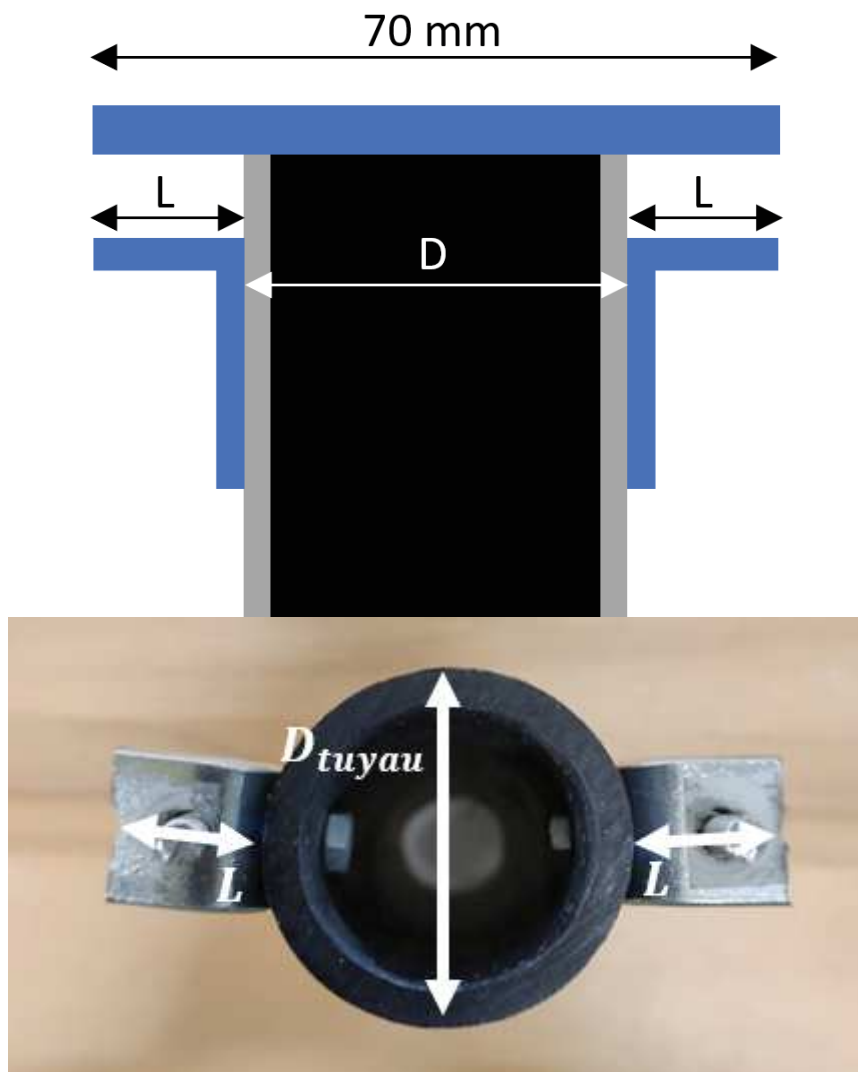
- Lorsque vous vous procurerez la plaque de métal/plexiglass [capuchon], mesurez et notez son épaisseur en mm
- Mesurez l'épaisseur de vos deux joints en mm
- Mesurez l'épaisseur de votre plaque de plexiglass [fond] en mm

=> Vous devrez couper la longueur de tube suivante :

$$l_{tube} = 251 - e_{capuchon} - e_{joint1} - e_{joint2} - e_{fond}$$

l désigne la longueur
e désigne l'épaisseur

Mesure de la largeur des équerres



- Mesurez le diamètre extérieur de votre tube en PE

=> Vos équerres devront être de largeur L suivante :

$$L_{équerres} = \frac{70 - D_{tuyau}}{2}$$

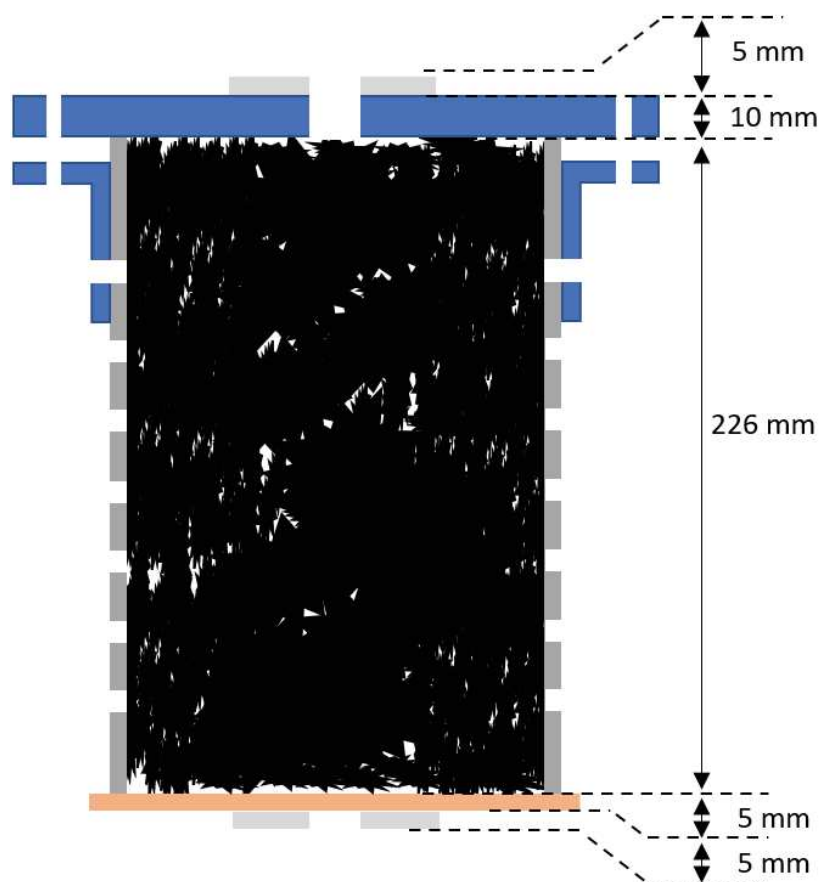
L désigne la largeur
D désigne le diamètre

Protocole

Notre matériel

Les photos dans ce document proviennent d'un prototype de cartouche. Comme la cartouche est un prototype, nous avons remplacé les plaques d'acier inoxydable par du plexiglass. Vous pouvez fabriquer la cartouche avec vos plaques d'acier inoxydable.

- 1 plaque plexiglass 10 mm épaisseur [capuchon]
- 1 plaque plexiglass 5 mm d'épaisseur [fond]
- 2 écrous boulons acier inox M5 x 20
- 2 écrous boulons acier inox M5 x 40
- 2 équerres acier inox
- 1 tuyau PE - diamètre extérieur 40mm



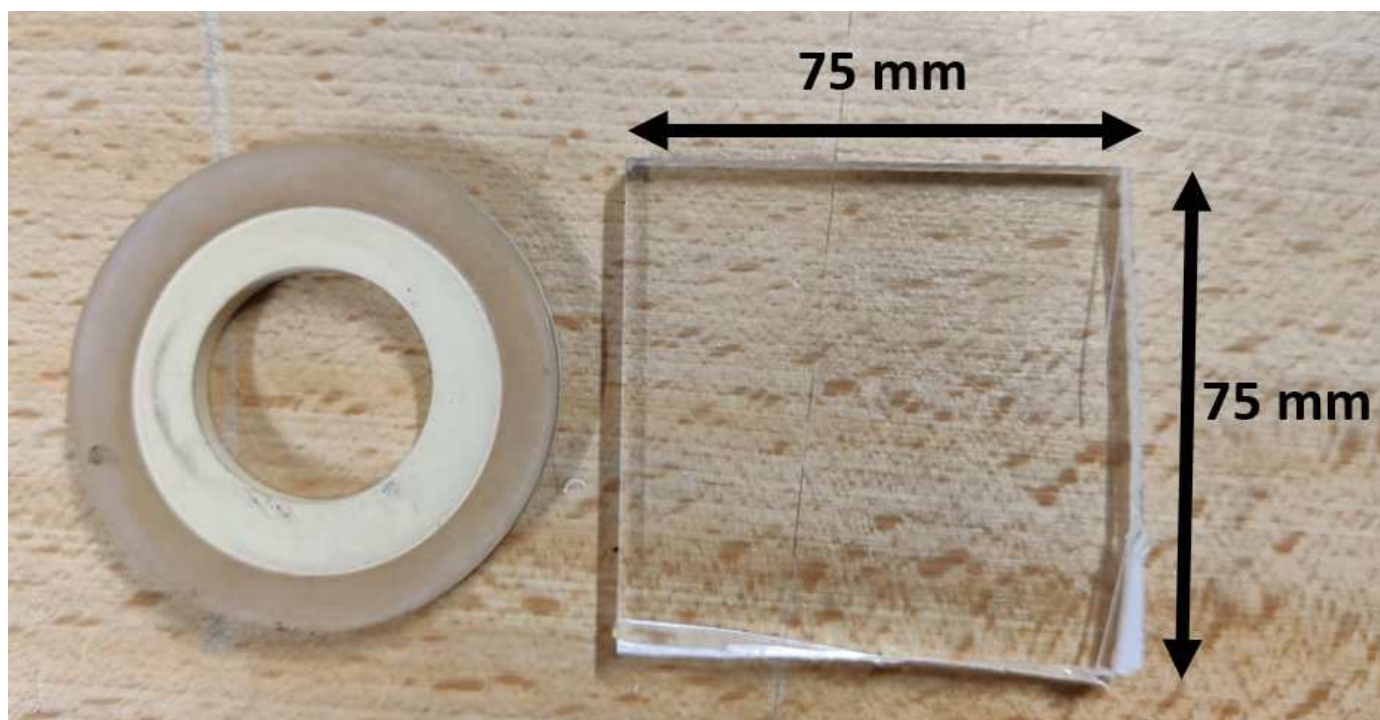
Découpe du tuyau de PE

Avec la meuleuse, **couper le tube de la longueur calculée précédemment.**
Avec notre matériel nous couperons un tuyau d'une longueur de 226 mm

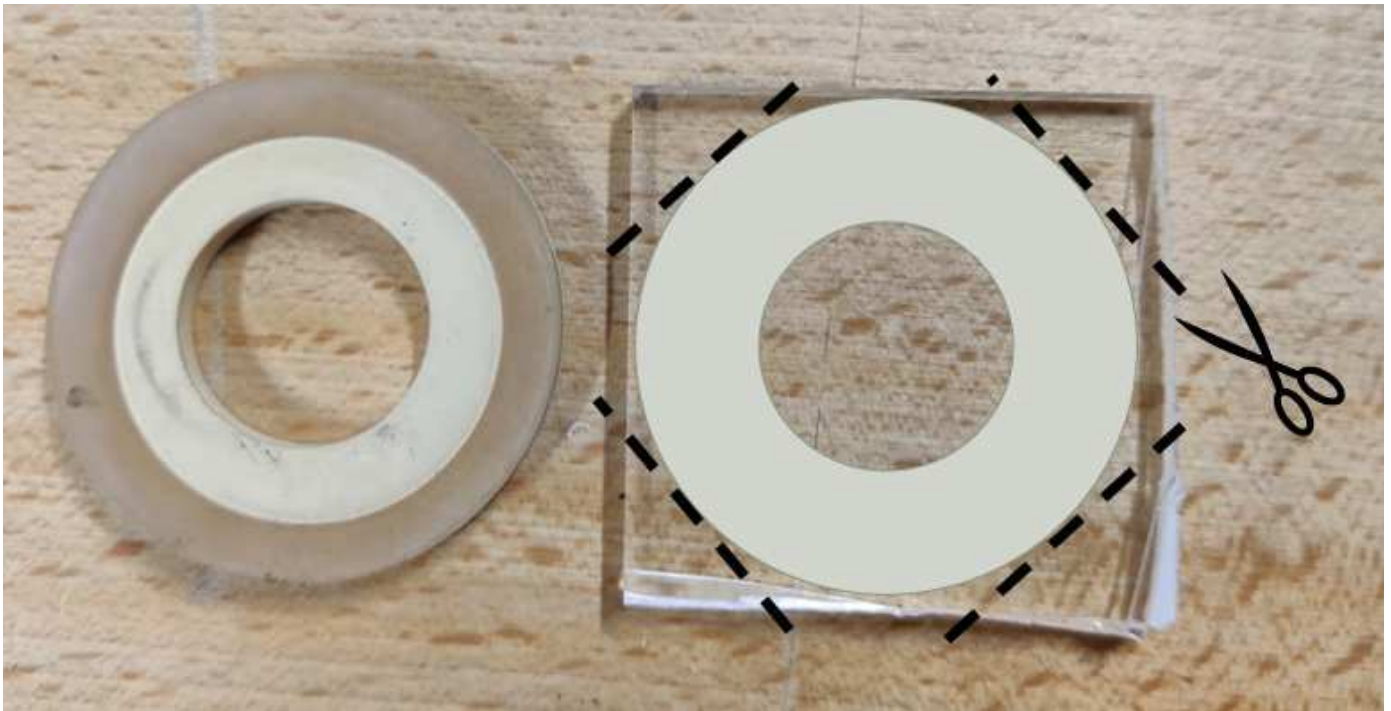


Découpe du fond

Avec une scie à métaux, **couper la plaque de plexiglass de 5mm selon un carré de 75x75 mm.** (de cette manière il pourra contenir le joint)



Avec un marqueur, notez le contour extérieur du joint puis couper les angles de façon à lui donner une forme de cercle.



Découpe des équerres

Avec une scie à métaux, **couper les équerres de manière à obtenir une largeur égale à celle calculée précédemment**

$$L_{\text{équerres}} = \frac{70 - D_{\text{tuyau}}}{2}$$


Fixation des équerres:

Sur le tuyau, placez les équerres aux deux extrémités, puis marquez le tuyau pour repérer la position des trous.

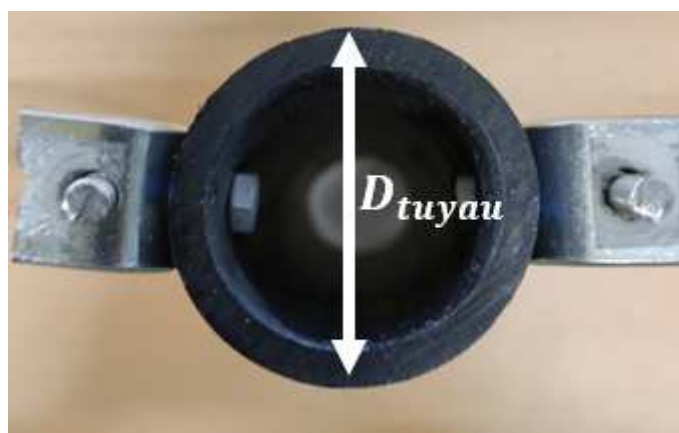
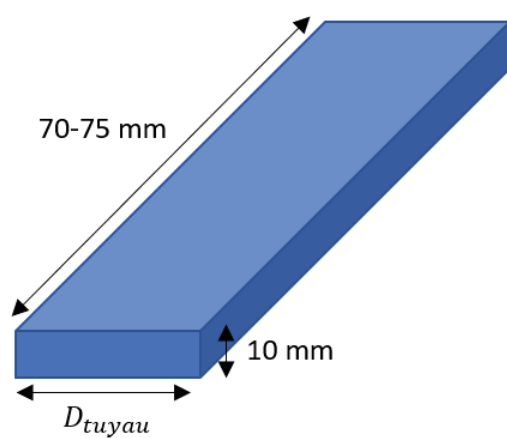
ATTENTION : pensez à laisser de l'espace entre le bord du tube et le bord des équerres :



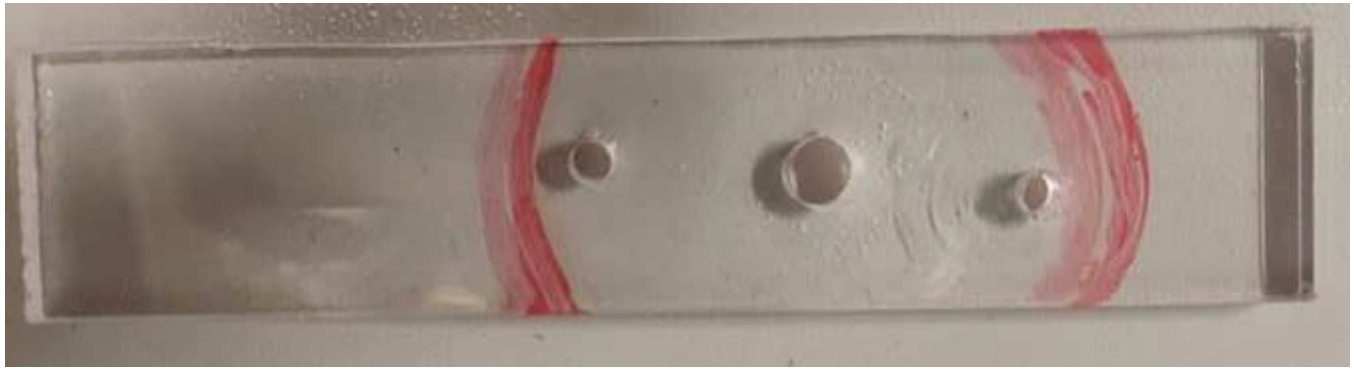
Avec une perceuse et un forêt à métal, percez le tuyau au niveau de vos marques.
Avec les boulons-écrous M5x20, fixez les équerres sur le tuyau.

Découpe du capuchon

Avec une scie à métaux **coupez la plaque de plexiglass sur une largeur égale à celle du diamètre de votre tuyau de PE :**



Couper ensuite la plaque sur **une longueur de 70 mm**

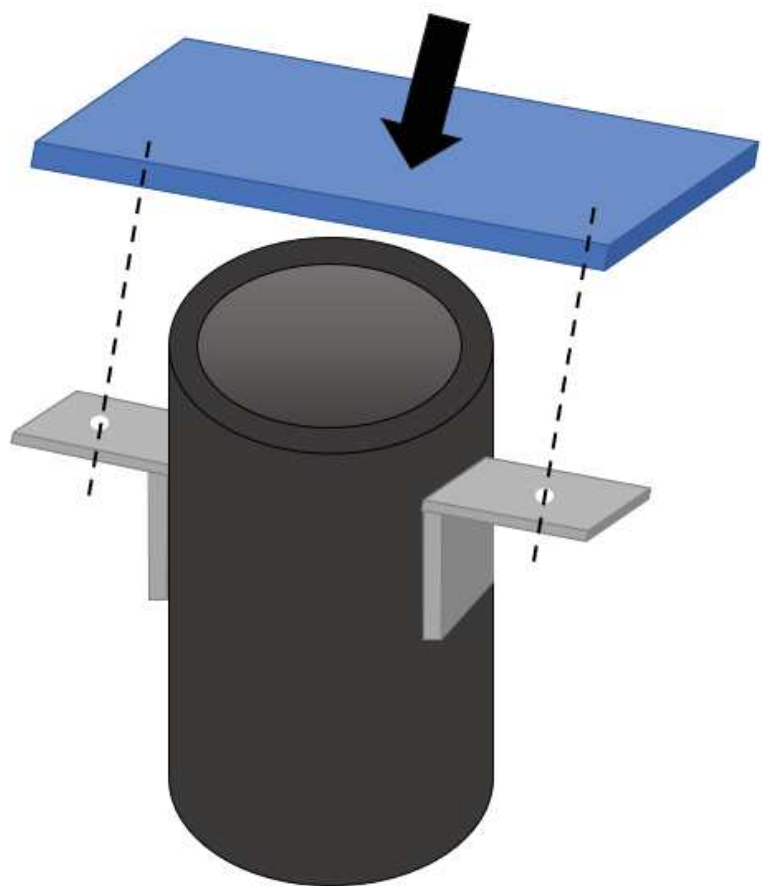


Fixation du capuchon

Percez les équerres avec une perceuse et un foret de la taille de vos vis:



Poser et centrez la plaque de plexiglass préalablement coupée au dessus du tuyau.



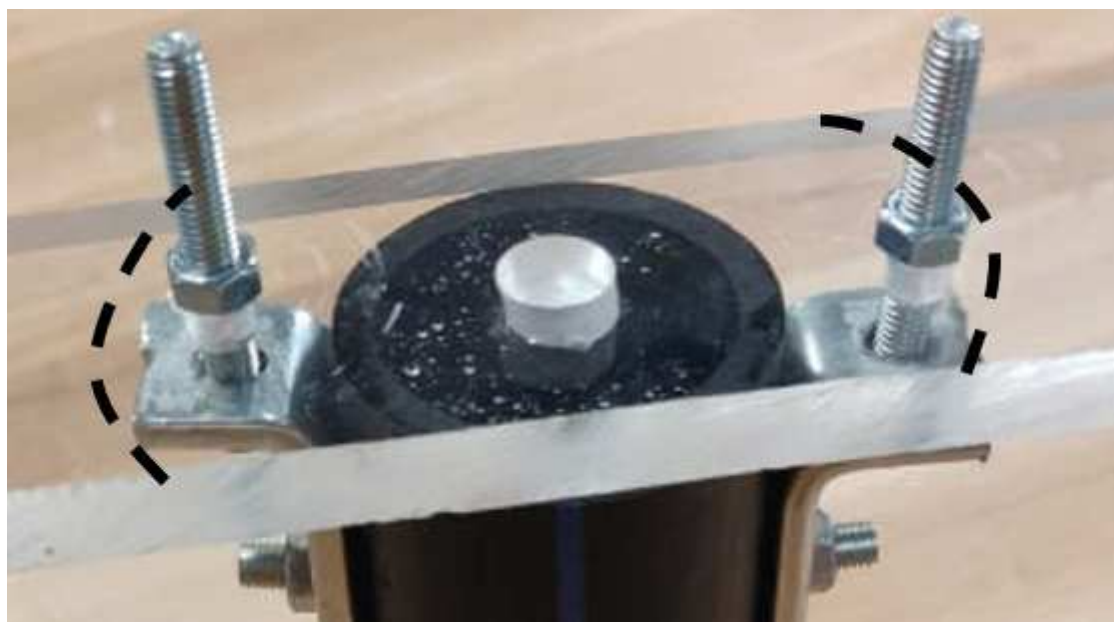
A partir des trous créés dans les équerres, marquez la plaque de plexiglass, puis percez la plaque avec une perceuse.



Fixez la plaque de plexiglass à votre tuyau, puis avec une scie à métaux, coupez le bout des vis en laissant 1 ou 2 mm de marge



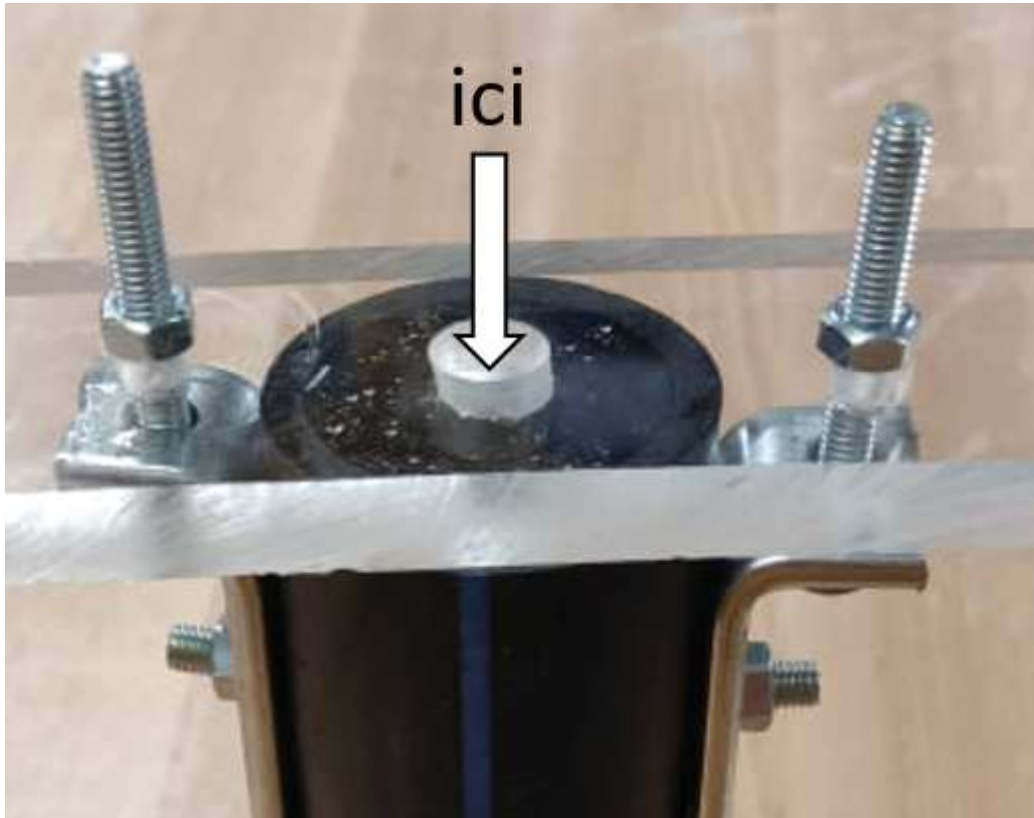
Enfin avec une lime à lame plate, limez les bords de votre plaque de manière à lui donner une forme ovale.





Création des trous

Une fois votre plaque de plexiglass fixée, percez la plaque au centre du tuyau avec votre plus gros foret.



Prenez ensuite une lime à lame arrondie et commencez à limer votre trou de manière à pouvoir y insérer votre tuyau (celui raccordé au réseau).

Enfin avec une perceuse, percez des trous avec des petits forets sur le côté de la cartouche. Commencez les trous à la base de la cartouche.



Commencez par n'en percer que deux, et augmentez le nombre si votre débit est trop faible.



Le charbon

Si le charbon est en granulé vous pouvez vous arranger pour faire des trous que le diamètre des grains du charbon.

Sinon n'hésitez pas à glisser votre charbon d'un tissu propre, pour éviter qu'il ne s'échappe par les trous de la cartouche.

Laissez couler quelques minutes avant utilisation.

Résultat final



