

# *Le Potabilisateur*<sup>®</sup>

Plug and play drinking water system



Elèves TPCPEC :  
Enseignant :

Lylou THIBAUT, Elliot LUCAS, Nolhan MORIN, Mathieu SAINT-AUBIN  
Bertrand PAPON

# Problématique

Le **changement climatique**, et plus particulièrement dans notre région les **épisodes méditerranéens**, peuvent empêcher la production d'eau potable en mettant les populations en danger. Notre idée est de créer une station de **potabilisation autonome**, efficace et facilement exploitable. Notre système doit répondre à 4 critères:

1. Pas besoin de connaissances spécifiques ! Le système doit être « plug et play ».
2. Tenir dans un sac à dos ou une valise. Relativement léger.
3. Efficacité contre les pollutions particulières, les bactéries et virus tout en conservant les minéraux.
4. Faible consommation d'énergie. Fonctionnement sur batterie et panneaux solaires.

Ce système doit également convenir pour des puits individuels ou des campings car. Nous allons vous montrer comment nous avons créé un prototype qui répond à ces critères.

*Humanitaire*



*Urgence*



*Loisir*

# Vidéo du projet

<https://youtu.be/-VeF52u5mDg?si=F90-3r0AyCr8WLaI>

## *Le Potabilisateur*®

Plug-and-play machine for producing drinking water



Elèves TPCPEC :  
Enseignant :

Lylou THIBAUT, Elliot LUCAS, Nahhan MDRIN, Mathieu SAINT-AUBIN  
Bertrand PAPON

# Le marché avec technologie membranaire

Système	Débit	Technologie	Energie	Conso énergétique (kWh/m³)	Coût énergie €/m³	Coût par litre (€)	Coût installation (€)
ORISA	100 L/h	ultrafiltration manuelle	manuel	~0	0	~0,00001	300
LifeStraw Community	~100 L/h	ultrafiltration par gravité	gravité	0	0	~0,000003	500
Tulip Siphon Filter	~1 L/min	microfiltration	gravité	0	0	~0,000005	~100–200
SkyHydrant GEM	200 L/h	ultrafiltration	gravité	0	0	~0,00001	~2000–5000
SkyHydrant MAX	400 L/h	ultrafiltration	gravité	0	0	~0,00001	~5000–10000
GravityPure UF	0.5–10 m³/j	ultrafiltration	pompe	~0,1	~0,015 €/m³	~0,00002	~6000–7000
Grundfos AQPure	2 m³/h	UF + chlore	électricité / solaire	~0,1–0,2	0,015–0,03 €/m³	~0,00003	~60 000–70 000
Aquaforce 2000	2 m³/h	UF + chlore	groupe électrogène	~0,2	~0,03 €/m³	~0,00005	~80 000–150 000
Oxfam WTK	2–10 m³/h	coagulation + sable	pompe	~0,3–0,4	0,05–0,06 €/m³	~0,00006	~40 000–100 000
MSF WTU 5–8	5–8 m³/h	coagulation + filtration	pompe	~0,4	~0,06 €/m³	~0,00007	~100 000–250 000
MSF WTU 10	10 m³/h	filtration rapide	pompe	~0,4	~0,06 €/m³	~0,00007	~150 000–300 000
Aquaforce 5000	5 m³/h	filtration + chlore	pompe	~0,3	~0,045 €/m³	~0,00005	~200 000–400 000
Aquaforce 15000	15 m³/h	UF + chlore	pompe	~0,2	~0,03 €/m³	~0,00004	~500 000–1 000 000
Aquasource UF	>100 m³/h	UF industrielle	électricité	~0,1	~0,015 €/m³	~0,00002	~1 000 000–2 000 000

Cible

Tableau généré par l'IA

# Les systèmes concurrents



Orisa 50-100 L/h  
Env 300 euros



Sky hydrant max  
400 L/h



Gravity pure UF  
500 L/H



Oxfam Water Treatment Kit 4 m<sup>3</sup>/h  
env 15 000 euros

# Pourquoi notre système est innovant ?

**Notre innovation :** aucun de ces systèmes bas débit n'est automatique. Ils demandent des manipulations. Le Potabilisator possède un véritable cerveau qui va piloter l'installation et optimiser son rendement. Le côté manuel ajoute de la robustesse et de la simplicité mais nous pensons que le pilotage est primordial pour optimiser la production. De plus, nous souhaitons également toucher d'autres cibles comme les propriétaires de puits ou de camping car. Le côté automatisé est alors primordial. Voici deux exemples qui peuvent illustrer nos propos:



**Exemple du robot aspirateur :** le robot aspirateur laveur n'a pas une puissance importante (environ 30W) mais il est piloté d'une manière très intelligente. Il devient plus efficace et plus économique qu'un aspirateur manuel + une serpillère. (moins d'eau, moins d'électricité et plus attractif pour le consommateur)

**Lave-linge :** les lave-linge modernes ont des capteurs :

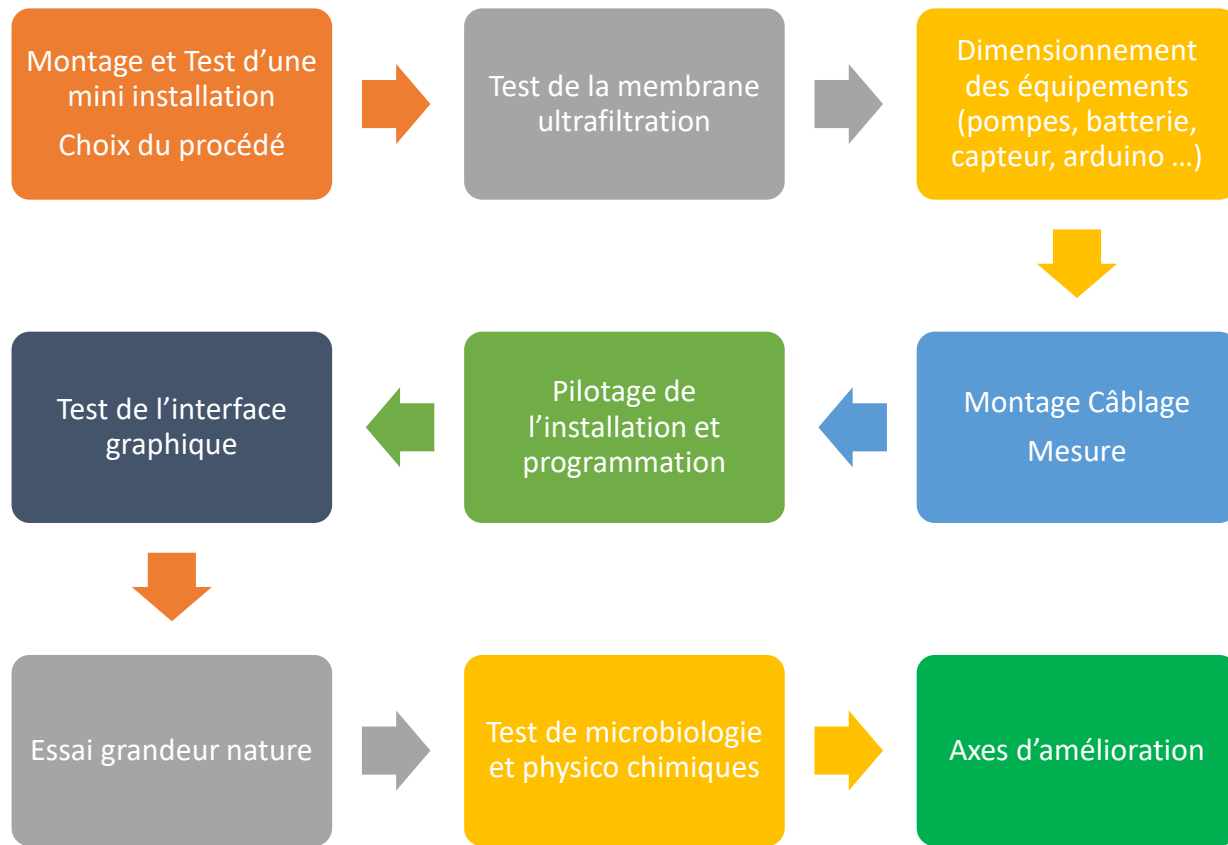
- Capteur de poids → détermine la quantité d'eau nécessaire.
- Capteur de turbidité ou salissure → estime le niveau de saleté.
- Capteur de type de tissu → adapte les mouvements du tambour.
- Capteur de mousse / détergent → ajuste la quantité de lessive.

Ces données permettent à la machine de modifier automatiquement :

- la durée du cycle,
- la température,
- la quantité d'eau,
- la vitesse d'essorage. Et donc de faire des économies !



# Etapes et répartition des rôles



**Lylou:** Communication et prise vidéo

**Mathieu:** Analyse chimique et biologique

**Elliot:** Arduino et capteur

**Nolhan:** Montage vidéo

**Tout le monde:** Test des installations et montage des pilotes

# Montage et test de la mini installation

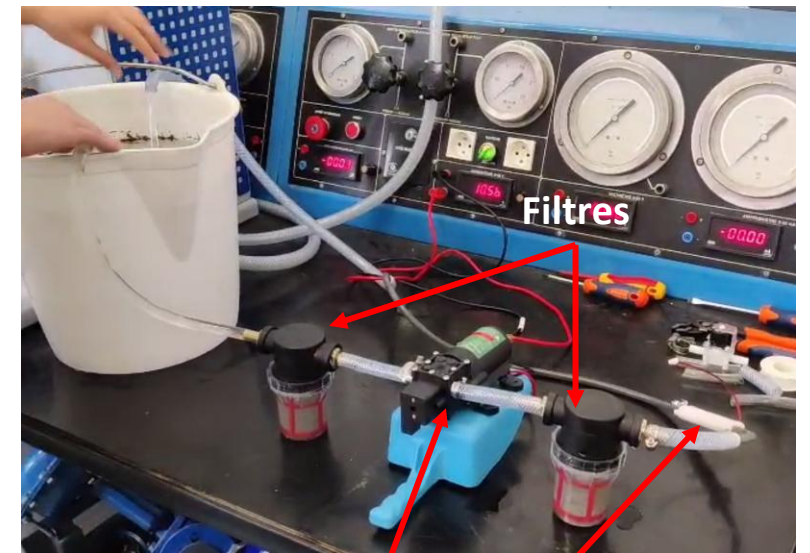
Au départ du projet, l'idée était de miniaturiser au maximum l'installation. Nous avons donc utilisé du matériel simple et compact.

Fonctionnement: Le premier filtre sert à protéger la pompe des éventuels morceaux. Puis l'eau passe dans la pompe doseuse qui envoie l'eau dans le deuxième filtre qui filtre le reste des déchets pour rendre l'eau moins turbide. L'eau va ensuite passer dans la lampe UV pour tuer les bactéries. Une fois le montage réalisé, nous avons fait le test.

Test de l'installation: Pour tester le montage de notre micro station de potabilisation, nous avons volontairement pollué l'eau pour évaluer son efficacité. Nous avons pu constater qu'à la sortie des filtres, l'eau est beaucoup plus claire et sans morceau. Cependant, l'eau qui est encore turbide et ne répond pas aux exigences de l'OMS : turbidité <5 NTU.

Conclusion : Nous **avons réorienté notre projet** vers une **technologie plus adaptée: l'ultrafiltration**. Cette dernière permet d'abattre complètement la turbidité.

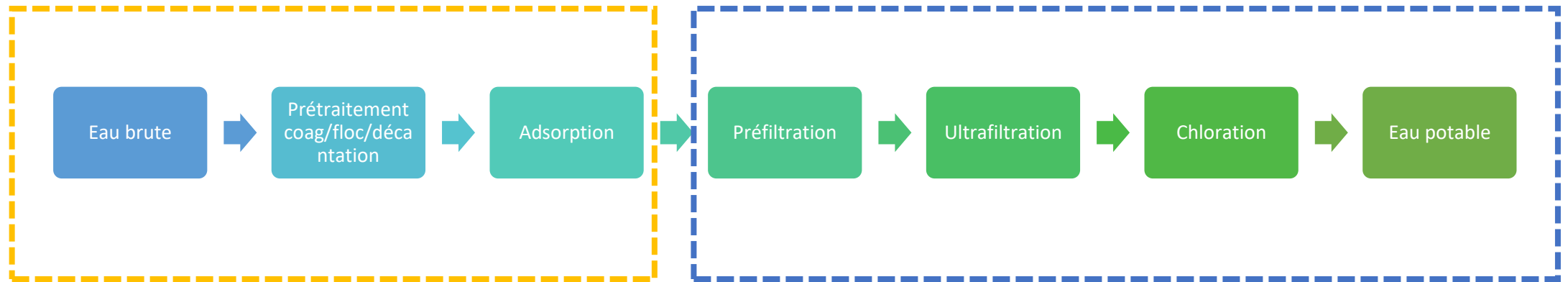
Montage et  
test de la micro  
station  
de  
potabilisation



Pompe

UV

# Schéma de principe retenu

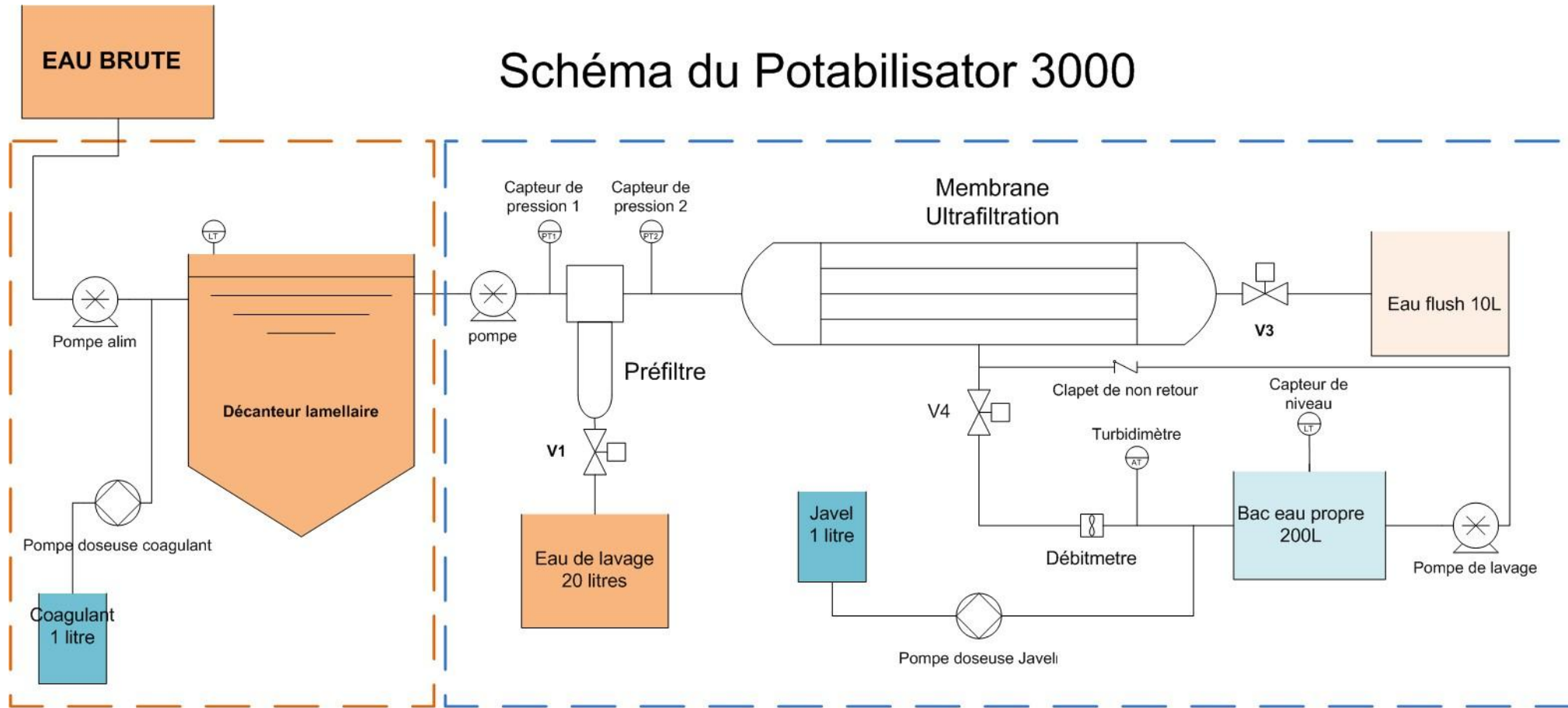


En projet

Réalisé

# Dimensionnement et choix des équipements

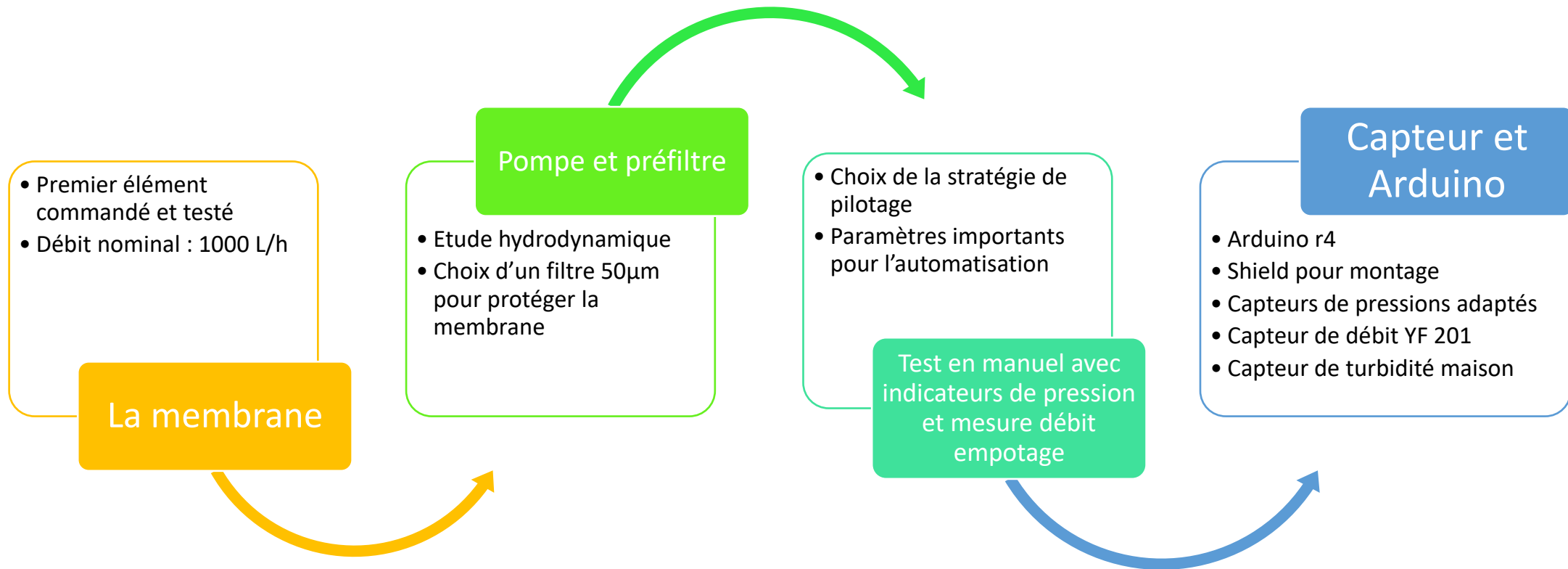
## Schéma PID



Traitement primaire  
pour forte turbidité  
Non réalisé

Ultrafiltration

# Dimensionnement et choix des équipements



# Dimensionnement et choix des équipements Ultrafiltration

Nous avons choisi une membrane d'ultrafiltration en PVDF qui permet de retenir les matières en suspension, les bactéries et les virus (seuil de filtration 0,01µm). Cette membrane est donnée pour un débit de 1000 L/h à 4 bars. Nous avons choisi volontairement de travailler à une pression plus faible : 1 bar. L'objectif est de minimiser l'énergie et d'éviter les contraintes mécaniques sur la membrane pour allonger sa durée de vie.

## 102 PIPE DIAMETER 1000 LITERS SINGLE

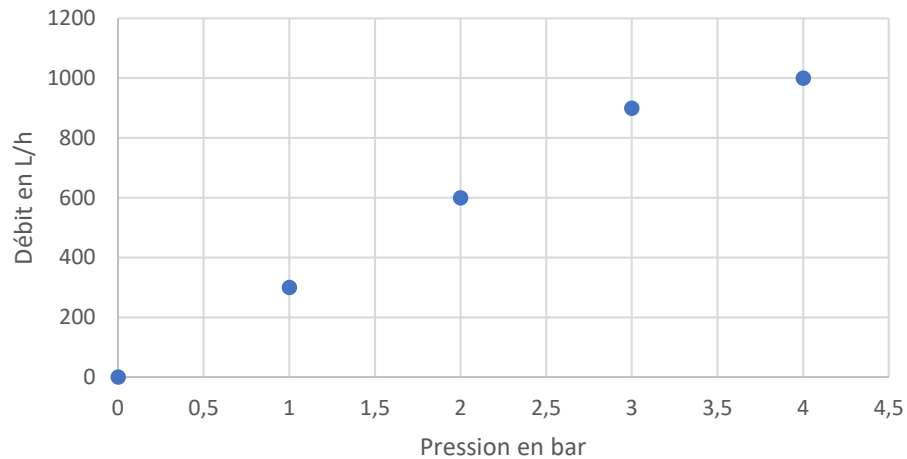


Pipe diameterφ	Model number	Water yield(L/H)	Specification (L*W*H)	Filter cartridge specification(L*W*H)	Interface (internal/external teeth)
102	1000	1000	475*102*130mm	90*420mm	4-point outer teeth



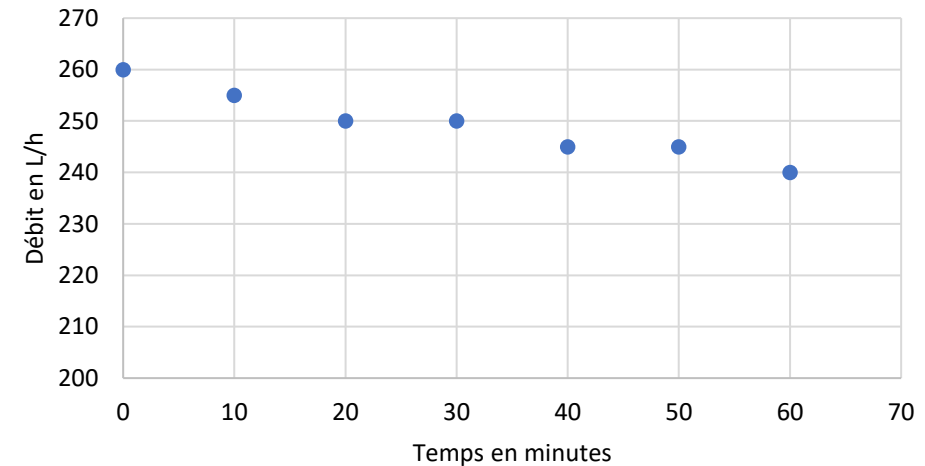
# Dimensionnement et choix des équipements Ultrafiltration

Débit en fonction de la pression



Nous avons testé la membrane avec de l'eau propre. On peut observer que le débit limite à 20 °C est proche de 1000 L/h. Travailler entre 1 et 1,5 bar semble être une alternative. Cependant, le débit peut chuter rapidement si l'eau devient plus froide à cause de la viscosité. (entre 20 et 5 °C on peut perdre la moitié du débit)

Débit en fonction du temps pour une pression de 1 bar



Nous avons testé notre membrane avec de l'eau chargée à 20 NTU mais préfiltrée. La turbidité en sortie du préfiltre était de 3 à 5 NTU. Donc on peut en conclure que la membrane a une bonne capacité de filtration et un débit qui convient à nos attentes à 1 bar.

**Conclusion :** Nous allons choisir une pompe dont le point de fonctionnement est proche de 1,5 bar à 250 L/h. Le diamètre des conduites est fixé à ½ pouce pour limiter les pertes de charge.

# Montage de l'installation

Nous avons utilisé du matériel pour réaliser le montage de la station d'ultrafiltration : perceuse, niveau, clés, tournevis ... Pour notre pilote nous avons réutiliser le châssis d'un pilote qui avait été démonté. Cela permet d'avoir un montage propre.



Le montage des pièces



Première installation avec manomètre et rotamètre

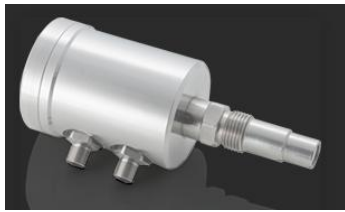


Pilote finalisé ! Ecran tactile, capteurs, batteries ...

# Arduino

Notre objectif est de piloter l'installation de manière automatique. La carte Arduino R4 joue le rôle de cerveau dans notre installation. Elle permet de centraliser les informations provenant des différents capteurs et de piloter l'ensemble du système, notamment l'écran tactile et les différents composants électroniques. Grâce à elle, il est possible d'automatiser le fonctionnement de l'installation en exploitant les données issues des capteurs de pression, de débit et de turbidité.

L'Arduino est particulièrement adapté à ce type de projet car il est compact, accessible et simple d'utilisation. La programmation se fait sur ordinateur via le logiciel Arduino IDE: il suffit d'écrire le code puis de le téléverser sur la carte pour qu'il soit exécuté immédiatement. Cela permet de tester et de modifier rapidement le fonctionnement du système.



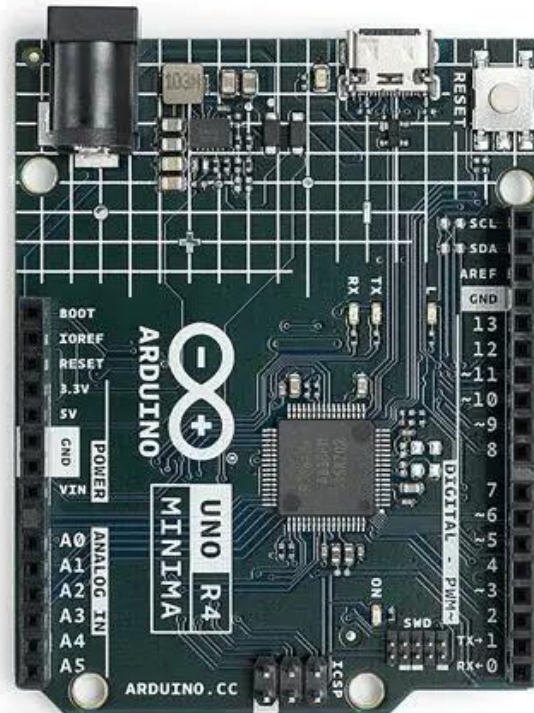
Capteur de turbidité



Capteur de pression



Capteur de débit



Electrovanne



Ecran tactile

# Arduino

N'ayant pas de connaissance approfondie en programmation, nous avons dû apprendre les bases du codage et de l'électronique. Un kit Arduino nous a été fourni afin de progresser étape par étape. Nous avons commencé par des exemples simples, comme faire clignoter des LED, afin de comprendre la structure d'un programme et le fonctionnement des entrées et sorties numériques et analogiques. Par la suite, nous avons également travaillé avec des capteurs notamment de pression. Celui-ci fournit une tension électrique (en volt) proportionnelle à la pression mesurée. Nous avons dû interpréter cette tension et la convertir en valeur exploitable par exemple de bars, grâce à des formules mathématiques intégrées dans le programme.

Nous avons également étudié l'aspect câblage: alimentation des capteurs, connexion aux entrées analogiques de la carte, GND et organisation propre du montage afin d'éviter les erreurs de mesure. Cette étape est essentielle pour garantir la fiabilité des données et la sécurité du système.

En résumé, la carte Arduino nous permet de :

1. Lire les données des capteurs,
2. Commander les différents éléments de l'installation,
3. Automatiser certaines actions,
4. Compiler des infos vers l'écran.



# Exemple de programme pour la pression

```
const float Offset=0.4735 ; // ajustez cette valeur
float V=0;
float P;

void setup()
{ Serial.begin(9600); // ouvre le port série, définit
le débit en bauds à 9600 bps
  Serial.println("/** Démo du capteur de pression d'eau
**/");
  delay(2000);
}
void loop()
{ //Connectez le capteur à Analog 0
  V = analogRead(0) * 5.00 / 1024; // Tension de sortie
du capteur
  P = (V - Offset) * 1.25; // Calcule la pression de
l'eau
  Serial.print("Tension :");
  Serial.print(V, 4);
  Serial.println("V");
  Serial.print(" x0.val=Pression :");
  Serial.print(P, 2);
  Serial.println(" bar");
  delay(1000);
}
```

## Principe global du programme :

Le programme réalise **4 étapes principales** :

### Mesure de la tension du capteur

Le capteur délivre une tension proportionnelle à la pression.  
Capteur → tension (V)

### Conversion analogique-numérique

L'Arduino transforme la tension en nombre :  
0-5 V → 0-1023

Puis on reconvertit en tension :

$$V = \text{analogRead} \times 5 / 1024$$

### Conversion tension → pression

On applique la relation du capteur :

$$P = (V - \text{Offset}) \times \text{coefficient}$$

### Résultat affiché dans le moniteur série :

Tension :2.1345V

Pression :2.08 bars

# Schéma électrique

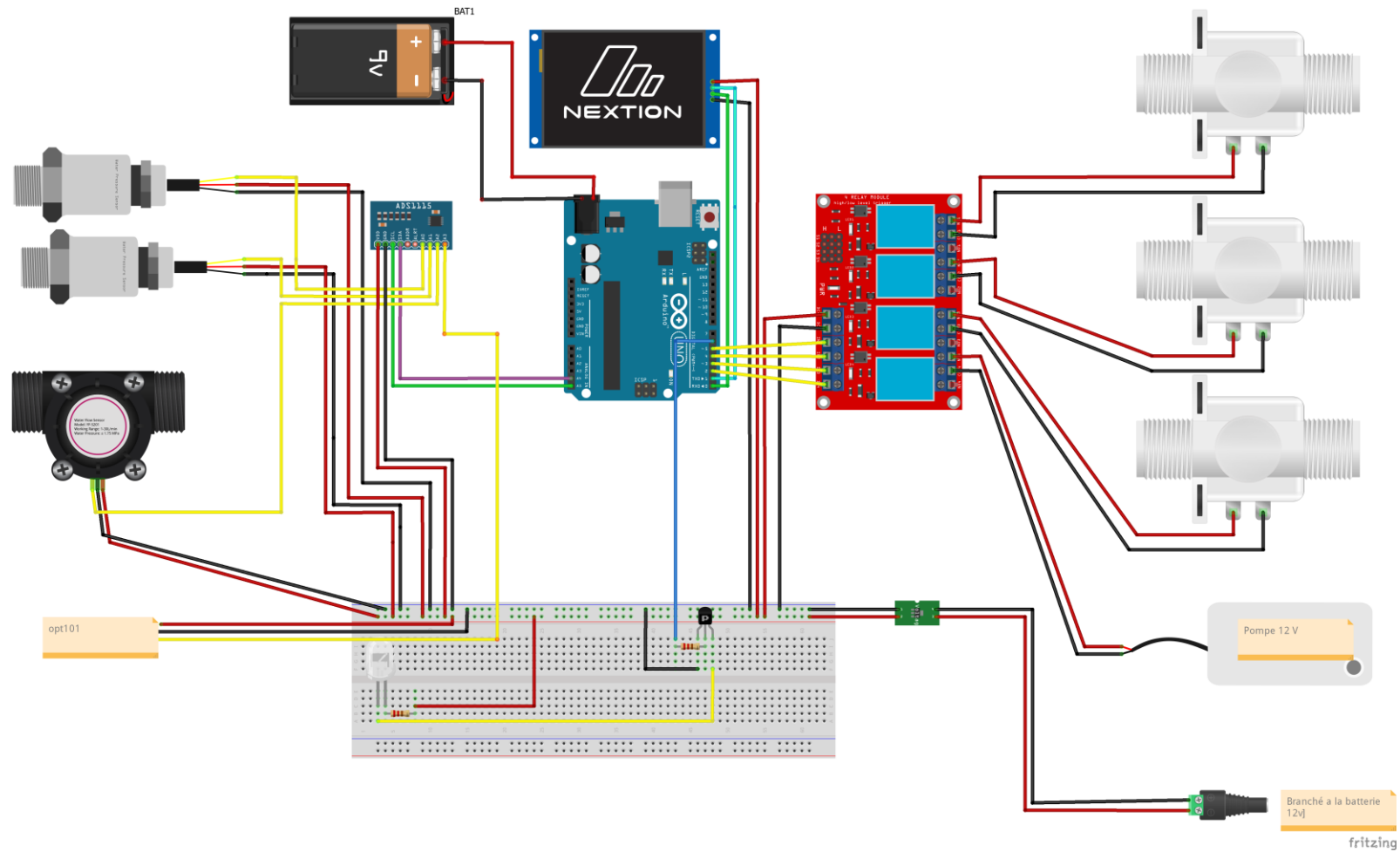


Schéma réalisé avec Fritzing

# Potabilité : Microbiologie

La microbiologie est un élément essentiel dans le processus de traitement des eaux. En effet, les tests microbiologiques permettent de contrôler et de vérifier la présence de micro-organismes et de bactéries pathogènes, potentiellement dangereux pour la consommation. Dans une station de potabilisation, l'objectif est de rendre l'eau brute potable. Si les normes biologiques ne sont pas respectées et que les bactéries ou agents pathogènes ne sont pas éliminés lors du traitement, des risques pour la santé des consommateurs peuvent survenir.

Pour vérifier la présence d'agents pathogènes ou de bactéries dans l'eau en sortie de l'installation, on utilise un test appelé le test H<sub>2</sub>S. Il s'agit d'une méthode simple, rapide et économique, recommandée par l'OMS et l'UNICEF, spécifiquement pour détecter la contamination fécale dans l'eau. Ce test fonctionne en réduisant le soufre, qui est présent sous forme de thiosulfate dans le milieu de culture, pour former du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Ce gaz réagit ensuite avec le fer contenu dans le milieu pour produire un précipité noir visible, ce qui indique la présence de contamination.

Le test H<sub>2</sub>S permet ainsi de détecter la présence de bactéries pathogènes dans l'eau. Ces bactéries réduisent le soufre pour produire du H<sub>2</sub>S, un gaz qui, lorsqu'il est détecté, signale une contamination fécale. Cela rend l'eau potentiellement dangereuse à la consommation et nécessite des mesures correctives pour garantir sa potabilité.

L'autoclave est un appareil qui applique de la pression et chauffe à 120°C pour stériliser les bouteilles contenant les réactifs. Par la suite, lors des manipulations, l'eau traitée est mélangée avec le milieu de culture stérilisé.



Autoclave utilisé pour désinfecter les préparations

# Microbiologie

Nous avons réalisé ce test dans la rivière « Touloubre » de Saint-Chamas afin de traiter l'eau brute, puis nous avons prélevé de l'eau traitée en sortie de traitement pour effectuer le test. Nous avons prélevé 100 mL d'eau traitée que nous avons ensuite ajoutée à une solution de réactifs composée de thiosulfate de sodium (source de soufre), de citrate de fer ammoniacal (permettant la formation du précipité noir), de citrate de sodium pour stabiliser le pH, et de peptone pour favoriser la croissance bactérienne.

L'ajout de citrate de sodium permet d'ajuster et de stabiliser le pH du milieu de culture, qui doit être maintenu autour de  $7,4 \pm 0,2$ , une plage optimale pour la croissance des bactéries utilisées dans les tests microbiologiques, comme le test  $H_2S$ . Un pH trop acide ou trop basique peut inhiber leur croissance ou altérer des réactions chimiques cruciales. Le tampon garantit ainsi des conditions idéales pour que les bactéries réduisent correctement le soufre et produisent du sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ). Sans un pH maîtrisé, les résultats du test seraient faussés, compromettant la détection fiable de la contamination.

Eau de la Touloubre	Eau filtrée
3/3 positifs	2/2 négatifs

Conclusion : Le système semble fonctionner correctement. Des analyses plus sensibles doivent être réalisées mais cela confirme le bon fonctionnement. Un système UV ou une injection de chlore viendront sécuriser la désinfection,



**Négatif: absence de bactérie**

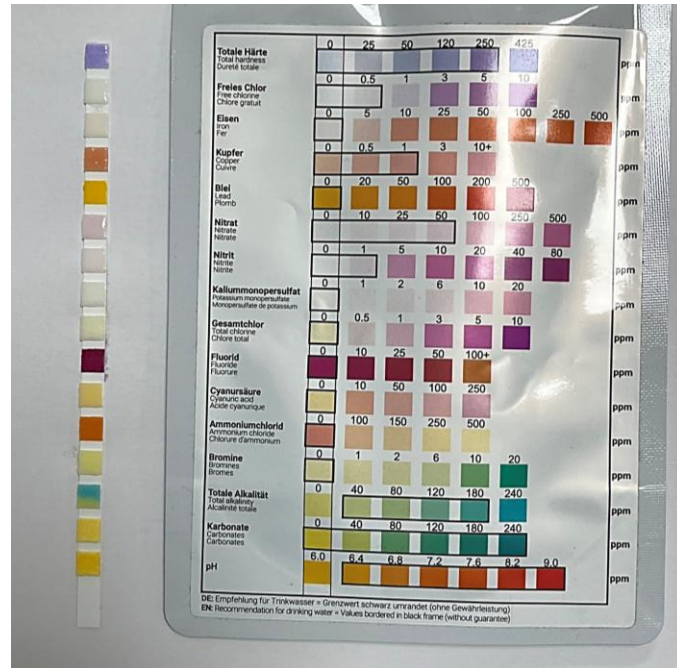
**Positif: présence de bactéries**

# Potabilité : Paramètres physico-chimiques

Pour faire les analyses, nous avons plusieurs possibilités sur site ou au laboratoire :

Les appareils portatifs	Les bandelettes	Le spectrophotomètre				
	 <p><b>Test For 18 Parameters</b></p> <table border="1"><tr><td><b>METALS:</b> IRON COPPER LEAD MERCURY MANGANESE ZINC</td><td><b>INORGANIC SUBSTANCES:</b> SULFATE FLUORIDE SODIUM CHLORIDE TOTAL CHLORINE FREE CHLORINE-BROMINE NITRATE NITRITE</td></tr><tr><td><b>PHYSICAL PROPERTIES:</b> TOTAL HARDNESS TOTAL ALKALINITY CARBONATE PH</td><td></td></tr></table>	<b>METALS:</b> IRON COPPER LEAD MERCURY MANGANESE ZINC	<b>INORGANIC SUBSTANCES:</b> SULFATE FLUORIDE SODIUM CHLORIDE TOTAL CHLORINE FREE CHLORINE-BROMINE NITRATE NITRITE	<b>PHYSICAL PROPERTIES:</b> TOTAL HARDNESS TOTAL ALKALINITY CARBONATE PH		
<b>METALS:</b> IRON COPPER LEAD MERCURY MANGANESE ZINC	<b>INORGANIC SUBSTANCES:</b> SULFATE FLUORIDE SODIUM CHLORIDE TOTAL CHLORINE FREE CHLORINE-BROMINE NITRATE NITRITE					
<b>PHYSICAL PROPERTIES:</b> TOTAL HARDNESS TOTAL ALKALINITY CARBONATE PH						
<p>pH mètre, conductimètre, thermomètre, turbidimètre.</p>	<p>Voir page suivante</p>	<p>Le DR3900 nous a donné des mesures fiables.</p>				

# Paramètres physico-chimiques : test à la bandelette



Paramètre	Couleur observée	Valeur estimée
Dureté totale (Total hardness)	Violet clair	~250 ppm
Chlore libre (Free chlorine)	Blanc	~0 ppm
Fer (Iron)	Blanc	~0 ppm
Cuivre (Copper)	Orange clair	~1 ppm
Plomb (Lead)	Jaune	~0 ppm
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Blanc	~10-25 ppm
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Blanc	~0 ppm
Monopersulfate de potassium	Rouge foncé	~0 ppm
Chlore total	Jaune pâle	~0 ppm
Fluorure	Orange	~0 ppm (valeur à confirmer car la teinte est intermédiaire)
Acide cyanurique	Jaune pâle	~0 ppm
Ammonium	Vert clair	~0 ppm
Brome	Vert foncé	~10 ppm
Alcalinité totale	Vert / turquoise	~120 ppm
Carbonates	(proche alcalinité) ~120 ppm	0 ppm
pH	Orange-rouge	~7.6 – 8.2

Il est difficile sur site de faire des analyses poussées. Cependant, il existe des bandelettes colorées qui donnent des informations satisfaisantes. Nous avons croisé les informations notre spectrophotomètre DR3900 et les résultats sont cohérents. Nous avons également fait des solutions étalons de fer, plomb et cuivre et nous avons trouvé des valeurs cohérentes. Nous pouvons dire que ces **bandelettes sont fiables** à condition de bien respecter le mode opératoire. Afin d'améliorer la lecture, nous avons utilisé **l'intelligence artificielle** qui analyse la photo et compare au nuancier. Résultat, on gagne encore en précision surtout pour les personnes qui ont des problèmes de vue ou de reconnaissance des couleurs.

# Paramètres physico-chimiques

Voici les paramètres importants à mesurer ou évaluer pour l'OMS (organisation mondiale de la santé) pour qualifier une eau de « potable ». Nous pouvons voir que notre filtration a une action sur la turbidité et les paramètres organoleptiques.

	Paramètres	Valeurs	Risque pour la santé ou installation	Moyen d'analyse	Eau brute	Eau traitée
Physico-chimique	pH	6,5 – 8,5	Influence la corrosion et la désinfection	Fait directement sur site avec sonde	8,1	8,1
	Turbidité	< 5 NTU (idéal <1)	Turbidité élevée protège les microbes		15	<0,2
	Conductivité (mS.cm)	variable	Indicateur de minéralisation		0,95	0,95
Désinfection	Chlore libre résiduel	0,2 – 0,5 mg/L	Au point d'utilisation	Labo spectro HACH + Bandelettes	0	0
	Chlore combiné	< 1 mg/L	Indicateur de réaction avec matière organique		0	0
Composés azotés	Nitrates	50 mg/L	Risque de méthémoglobinémie		12	12
	Nitrites	0,2 mg/L	Très toxiques		0	0
	Ammonium	< 0,5 mg/L	Indicateur pollution organique		0	0
Métaux toxiques	Arsenic	10 µg/L	Cancérogène		NR	NR
	Plomb	10 µg/L	Neurotoxique		0	0
	Cadmium	3 µg/L	Toxicité rénale		NR	NR
	Mercure	6 µg/L	Neurotoxique		NR	NR
	Cuivre	50 µg/L	Toxicité chronique		<0,05	<0,05
Autres éléments	Fluorures	1,5 mg/L	Excès → fluorose	0	0	
	Fer	0,3 mg/L	Goût et coloration	0	0	
	Manganèse	0,4 mg/L	Dépôts et goût	NR	NR	
Organoleptique	Couleur	< 15 UC	Acceptabilité	Fais sur place		
	Odeur	acceptable	Pas d'odeur anormale		Peu d'odeur	Pas d'odeur
	Goût	acceptable			Pas terrible !	Bien!

# Projet pour la suite

Nous souhaitons ajouter un module coagulation/floculation/décantation à notre système pour améliorer fortement le traitement de l'eau et éviter les colmatages de la membrane. Nous testons actuellement un coagulant à base de nopal. Les premiers résultats sont encourageants mais il y a encore du travail ! Nous avons traité et déshydraté 10 kg de figuier de barbarie pour approfondir le sujet. Ilyes et Léo en ont fait leur projet pour le baccalauréat !



On enlève les épines



On découpe, on sèche, on mixe,  
on tamise

# Promotion du projet







Nous avons pu expliquer notre projet à tous les visiteurs lors de la journée porte ouverte du lycée.



Notre logo

# Conclusion

	Pas besoin de connaissances spécifiques ! Le système doit être « plug et play ».	Le système est autonome mais les stratégies de lavage doivent être fiabilisées et optimisée.
	Tenir dans un sac à dos ou une mallette. Relativement léger.	Pour l'instant, le système est sur un châssis mais il sera possible de le mettre dans un sac à dos !
	Efficacité contre les pollutions particulaires, les bactéries et virus tout en conservant les minéraux.	Sur une eau de surface de qualité « satisfaisante », le système joue bien son rôle. Plus de bactérie, une eau parfaitement claire !
	Faible consommation d'énergie. Fonctionnement sur batterie et panneaux solaires.	Pour produire 500 litres d'eau, nous avons utilisé 2 batteries 18V 3ah soit environ 120 W. Ce qui fait 0,3 kW au m <sup>3</sup>



**Avant et après filtration !**