

**DELLA GUARDIA Emilie  
EL GHADDARI Atar  
FAVREAU Alexandra**

**TS1**

**ENCADREMENT :  
Mr JEANJACQUOT**



# **EAU POUR TOUS**

**Lycée Charlie Chaplin**

# Sommaire

I. Synthèse	4
II. Choix du sujet et principe.	5
III. Première manipulation	6
A. Protocole expérimental.	
B. Observations et mesures ( température, quantité d'eau, conductrimétrie ).	
C. Résultats des choix et justifications	
D. Modifications et nouveau prototype	
IV. Visite des partenaires	8
A. Démonstration.	
B. Observation des méthodes utilisées par nos partenaires.	
C. Discussions, critiques : conseils d'amélioration.	
V. Deuxième manipulation avec les bouteilles.	10
A. Protocole et schéma.	
B. Remarques et conclusion.	
VI. Expérience sur une longue période	13
A. Description et protocole.	
B. Système et choix des mesures.	
1. Humidité.	
a) Pourquoi mesurer l'humidité ?	
b) Problème rencontré .	
c) Solution.	
d) Principe de fonctionnement.	
e) Remarque sur la mesure de la pression.	
f) Résultats.	
g) Exploitations .	

2. *Luxmètre.*
  3. *Température.*
  4. *Pression.*
- C. *Mesure de la qualité de l'eau.*
1. *Ions (conductimétrie).*
  2. *Bactéries.*
- D. *Résultats.*
1. *Points positifs*
  2. *Points négatifs*
  3. *Choses surprenantes.*

---

## **VII. Amélioration du procédé.** **17**

- A. *Modifications apportées à partir des défauts de l'expérience longue.*
- B. *Banc d'essai ( pour des exploitations sans le soleil ).*
- C. *Mesures.*
1. *Conductimétrie, débit et température*
  2. *Mesure de la puissance du rayonnement reçu.(corps noir)*
    - a) Pourquoi est il nécessaire de réaliser cette mesure ?
    - b) Principe.
    - c) Dispositif.
    - d) Résultats.
    - e) Remarque.
    - f) Calculs.
    - g) Comparaisons.

---

## **VIII. Conclusion** **20**

## I. Synthèse

La pollution de l'eau est un des grands problèmes de l'humanité.

Le but de notre projet est de fabriquer un système d'épuration d'eau pour les pays en voie de développement. Nous avons choisi d'utiliser l'énergie solaire. Il faut aussi que le dispositif soit le plus simple et le moins coûteux.

Nous sommes parti d'un système existant et nous l'avons amélioré en utilisant une démarche expérimentale:

- en choisissant convenablement les paramètres à mesurer (conductivité, débit, humidité, température, pression).
- en modifiant le dispositif à l'aide de méthodes comparatives.

Nous avons travaillé avec des professionnels de l'aide humanitaire : Monsieur Veyrenche, responsable du département d'épuration des eaux de Bioforce. Nous avons participé à un stage sur le terrain avec 20 stagiaires européens, nous leur avons présenté notre projet, il s'en est suivi d'un débat, ce qui nous a permis de modifier notre procédé. Nous avons conclu également que notre projet est utilisable pour des petites unités isolées mais pas pour les camps de réfugiés.

Nous avons réalisé une longue manipulation sur les 2 mois d'été. (en bois + PVC+ verre). Après une phase transitoire de 3 jours, le système a bien fonctionné, puis le matériel s'est détérioré (usure) et l'eau n'a plus été convenablement épurée.

Nous avons également fabriquer un psychromètre pour pouvoir mesurer l'humidité dans les conditions extrêmes imposées par l'expérience.

A partir des résultats de cette expérience, nous avons modifié le prototype : nous avons remplacé le bois par de la terre cuite.

Pour poursuivre les expériences quelque soit la saison et le temps nous avons réalisé un banc d'essais. Pour pouvoir interpoler nos résultats sur le comportement en plein air de l'épurateur, nous avons mesurer la puissance du rayonnement reçu sur le banc d'essais.

Beaucoup d'améliorations ont été apportées à l'épurateur. Nous allons présenter l'expérience modifiée à Monsieur Veyrenche. Puis, nous espérons faire des essais dans les conditions du terrain.

## II. Choix du sujet et principe.

Dans le cadre des olympiades, nous voulions réaliser un projet concernant l'aide humanitaire. Nous avons donc tout d'abord pensé à fabriquer un réfrigérateur autonome pour venir en aide au pays du tiers-monde, spécialement ceux qui ont un climat sec et chaud. Cependant un réfrigérateur n'aurait pas une grande utilité face au manque considérable d'eau. En effet, l'eau est vitale pour l'être humain. Nous nous sommes donc basées principalement sur la désalinisation de l'eau de mer à l'échelle d'une famille à partir de matériaux simples et peu coûteux. Ce système ne devra nécessiter d'aucuns apports en électricité ce pourquoi nous utiliserons l'énergie solaire.

Nous avons voulu améliorer et adapter une expérience existante en utilisant une démarche expérimentale :

- Modifier des paramètres en faisant des expériences comparatives.
- Utiliser des conditions expérimentales les plus proches de la réalité en faisant des expériences sur plusieurs mois à l'extérieur.
- Créer un banc d'essais pour pouvoir étudier les montages lorsque les conditions extérieures ne nous le permettent pas.

### III. Première manipulation.

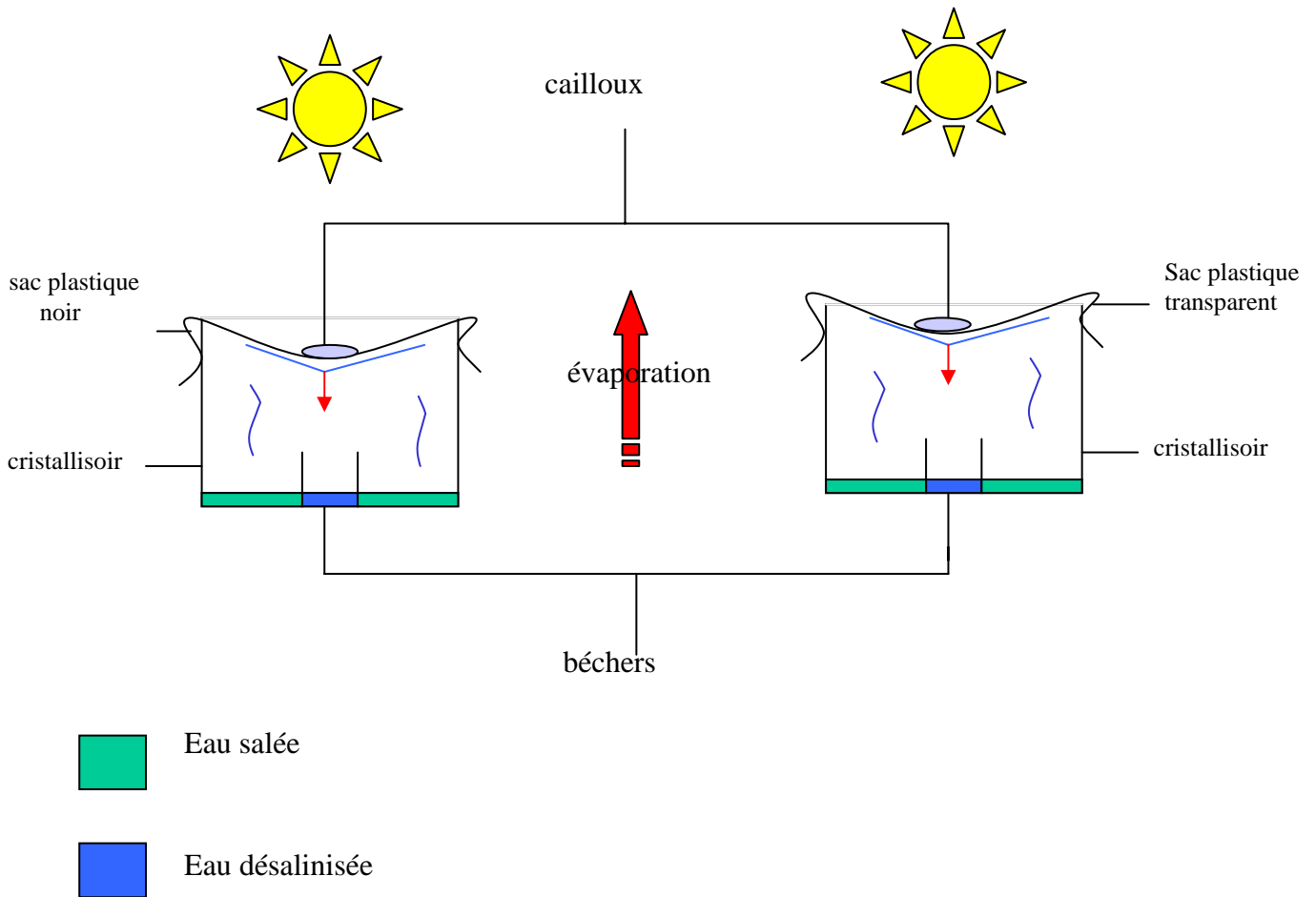
#### *A. Protocole expérimental.*

Nous nous sommes basées sur une manipulation déjà existante « la serre de distillation » selon laquelle de l'eau désalinisée serait obtenue par évaporation puis condensation.

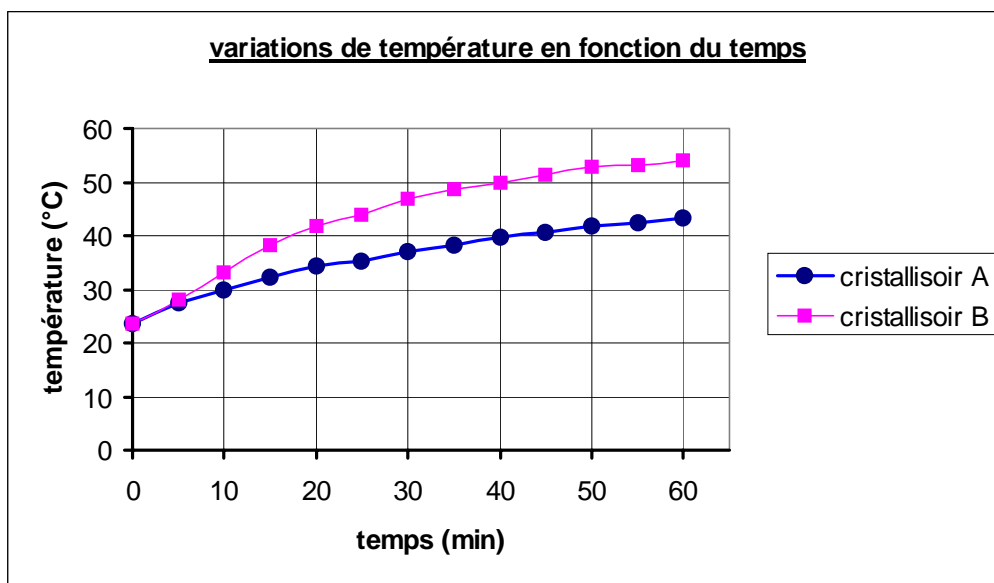
Nous disposons de deux cristallisoirs A et B respectivement recouverts de papier film transparent et d'un sac noir, d'une lampe de 500w, de deux cailloux, d'un béccher et de 500mL d'eau salée de concentration 40g/mol.

Dans chacun des cristallisoirs, nous introduisons 250 mL d'eau salée puis au centre nous mettons un béccher vide afin de récupérer l'eau désalinisée, nous recouvrons l'un deux de film plastique transparent et l'autre d'un sac noir et nous mettons un caillou au centre de chacun.

Ainsi en juxtaposant les deux manipulations, nous pourrions établir une étude comparative.



### B. Observations et mesures ( température, quantité d'eau)



D'après les deux courbes précédentes on constate que:

Dans le cristallisoir B (avec la sac noir) la température augmente plus rapidement et est plus élevée que dans le cristallisoir A (avec le sac transparent).

Au bout de quelques minutes, de la buée apparaît sur les parois des deux cristallisoirs. La température étant inférieure à 100°C, nous pouvons dire que l'eau n'a pas besoin d'être chauffée à une température de 100°C pour changer d'état (liquide à gazeux), il suffit d'une variation de l'humidité de l'air.

Le caillou n'étant pas conducteur, il garde la chaleur, ainsi la différence de température ne peut pas être maintenue entre l'intérieur et l'extérieur du cristallisoir.

Nous avons expliqué la méthode de calcul de la concentration de chlorure de sodium à partir de la conductance dans le paragraphe « VI.C.1 »

### C. Résultats des choix et justifications.

#### Résultats :

Le sac noir retient donc la chaleur plus efficacement.

Le caillou perturbe la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du cristallisoir.

La lampe ne distribue pas la lumière (donc la chaleur) de manière homogène sur les deux cristallisoirs.

L'eau obtenue est bien désalinisée mais le rendement reste faible.

### D. Modifications et nouveau prototype

Nous poursuivrons la manipulation en faisant varier certains facteurs : nous avons recouvert le caillou de papier aluminium pour qu'il puisse refléter les rayons lumineux et moins chauffer. Dans la perspective d'accélérer la procédure, nous allons remplacer le sac plastique noir par une couverture de survie, dans le but de refléter la lumière en surface pour obtenir une meilleure variation de température.

Pour répartir la lumière plus efficacement, nous avons élaboré une parabole. Ainsi nous avons décidé d'utiliser un parapluie recouvert d'une couverture de survie, face argentée à l'extérieur. La lampe sera placée sous la manipulation, donc nous avons monté une armature en hauteur sur laquelle il y aura les deux cristallisoirs. (cf photo manipulation IV.A). C'est ce prototype que nous allons présenter à nos partenaires.

#### IV. Visite des partenaires

Nous avons pris contact avec Monsieur Veyrenche, responsable de la formation d'épuration des eaux pour l'humanitaire à Bioforce.

##### *A. Démonstration.*

Dans le but de nous conseiller, nos partenaires ont accepté de nous consacrer une partie de leur temps lors d'une présentation de notre projet (expérience avec les deux cristallisoirs). Nous leur avons rapidement expliqué le fonctionnement des olympiades, puis nous leur avons montré le principe de notre manipulation.



##### *B. Observation des méthodes utilisées par ces partenaires.*

Leur site se trouvait au bord d'un étang abandonné puisque leur objectif principal est de tester différents systèmes d'épuration pour aider les pays pauvres. Ils ont eu en effet de nombreuses occasions d'apporter leur aide lors de séjour dans différents pays.

Dès notre arrivée nous avons remarqué l'importance de leur installation:

- sur le côté gauche se trouvaient leurs tentes (on peut remarquer sur la photographie, l'importance de la dégradation du site avec la présence d'une voiture brûlée).





- sur le côté droit (au bord de l'étang), étaient installées toutes leurs manipulations aussi impressionnantes les unes que les autres. Certaines d'entre elles sont présentées ci-dessous:



Système d'épuration physico-chimique



### *C. Discussions, critiques: conseils d'amélioration.*

Grâce à leur expérience, ils ont pu nous conseiller sur des modifications possibles de notre projet pour accélérer le rendement:

Ils nous ont tout d'abord proposé de diminuer la pression à l'intérieur des cristalliseurs à l'aide d'une poire, puis d'isoler les parois, qui devraient être en noires, et enfin d'augmenter la surface du fond.

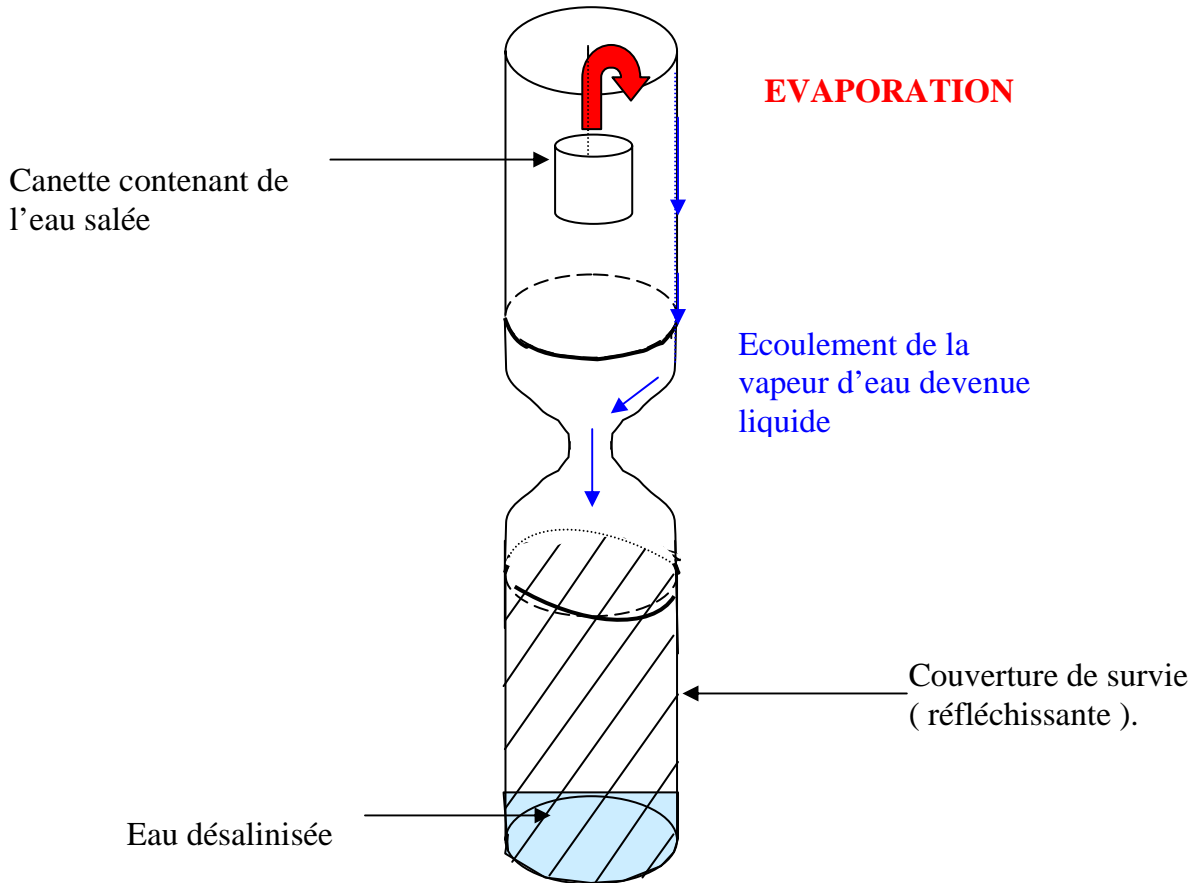
Ils ont souligné le fait que le vrai problème était au dessus de notre volonté, car l'eau une fois potable se recontamine lors de sa consommation par les habitants des pays concernés à cause du manque d'hygiène de vie.

Nous avons tenu compte de tous ces conseils pour élaborer un nouveau système de désalinisation.

## V. Deuxième manipulation.

### A. *Protocole et schéma.*

Pour obtenir un meilleur rendement et accélérer la procédure nous avons décidée de tester différents matériaux pour savoir lesquels retenaient le mieux la chaleur grâce à la manipulation suivante



La couverture de survie devrait réfléchir les rayons lumineux afin de garder la bouteille du dessous à une température inférieure à celle du haut car en effet la condensation se produit lors d'une différence de température.

La canette en aluminium a pour but de retenir la chaleur afin de faciliter l'évaporation de l'eau salée

Les bouteilles en PET (polyéthylène téréphtalate) ont été choisies afin qu'elles laissent passer les rayons lumineux et obtenir un « effet de serre »

Au bout de quelques minutes l'eau se condense sur les parois mais une grande partie reste sous forme de buée, de ce fait on a obtenu un faible rendement . Cependant la couverture de survie a été efficace car la bouteille du dessous est restée à une température inférieure à celle du dessus .

### B. *Remarques et conclusion.*

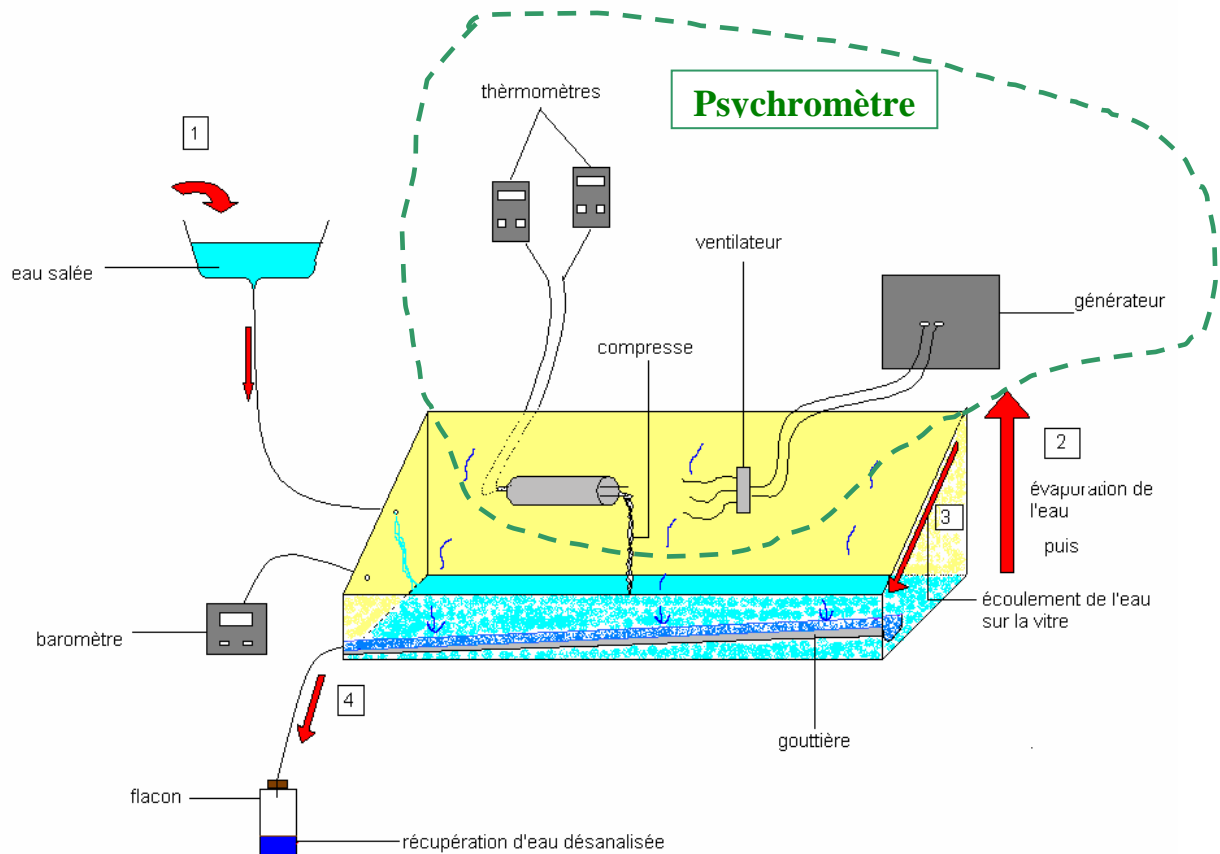
La couverture de survie a été efficace car la bouteille du dessous est restée à une température inférieure à celle du dessus.

Cependant, l'ensemble est instable et l'eau propre risque d'être facilement polluée par l'eau sale. Nous allons donc opter pour des montages plus fiables.

## VI. Expérience sur une longue période.

### A. Description et protocole.

Après réflexion, nous avons inventé un système capable de désaliniser de l'eau tout en respectant les principes de simplicité et d'économie établis dès le départ du projet. Il s'agit encore d'éliminer le sel par évaporation de l'eau mais cette fois-ci, le système est conçu en bois, isolé par du polystyrène recouvert d'une fibre réfléchissante à l'extérieur, et d'un plastique noir à l'intérieur; enfin une vitre est fixée en guise de couvercle en position penchée. Grâce à cette pente, l'eau une fois évaporée, puis condensée, pourra glisser sur la vitre et sera récupérée dans une gouttière fixée à l'avant de la boîte. Enfin cette dernière, elle même penchée, permettra à l'eau de couler dans un flacon par l'intermédiaire d'un tuyau. Le schéma ci-dessous représente le système muni des appareils de mesure qu'on décrira dans le paragraphe suivant.



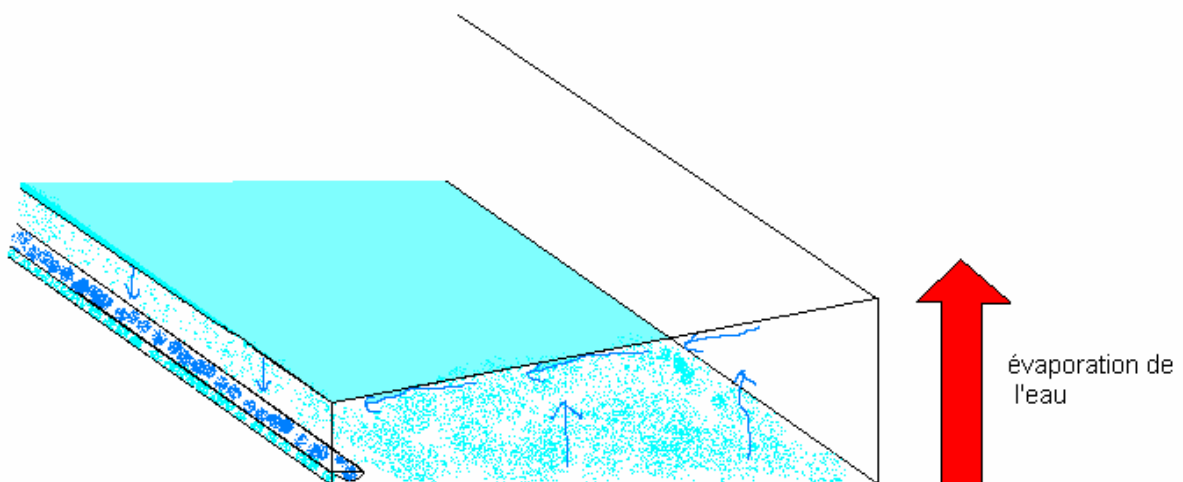


schéma vue de coté



### *B. Système et choix des mesures.*

Afin de suivre l'évolution de l'expérience, nous avons choisis de mesurer certains critères grâce à des appareils simples d'utilisation.

#### *1. Humidité.*

##### a) Pourquoi mesurer l'humidité ?

Notre système d'épuration d'eau est basé sur la variation de l'humidité de l'air. Plus l'air est humide (à l'intérieur de l'épurateur) et plus la production d'eau doit être rapide. Il faut donc contrôler l'humidité à l'intérieur de l'épurateur. On pourra par la suite vérifier le lien avec la quantité d'eau produite.

##### b) Problème rencontré :

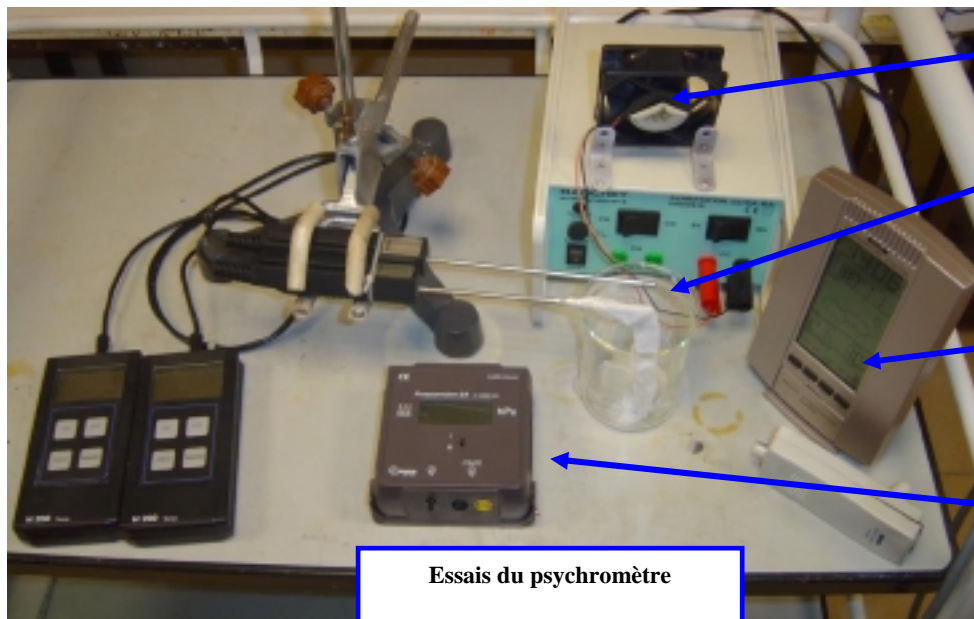
Lors des premières mesures sur l'épurateur la température intérieure a dépassée 70° rendant inutilisable les capteurs d'humidité usuels

##### c) Solution.

Le problème c'est produit au mois de juillet, juste avant la fermeture du lycée. Il a fallu trouver rapidement une solution qui soit fiable et réalisable avec du matériel existant : Nous avons donc fabriqué un PSYCHROMETRE.

##### d) Principe de fonctionnement.

Pour fabriquer un psychromètre il faut : deux thermomètres, un ventilateur et une « chaussette ». La chaussette est, en fait, une compresse. Les deux thermomètres sont placés l'un à côté de l'autre. L'un est entouré par la compresse qui plonge dans de l'eau. L'eau monte dans la compresse, et au bout de quelques dizaines de minutes le système est opérationnel.



Le ventilateur.

Les deux thermomètres dont un avec une compresse humide.

Une station météo pour vérifier le fonctionnement du psychromètre

Un manomètre

Essais du psychromètre

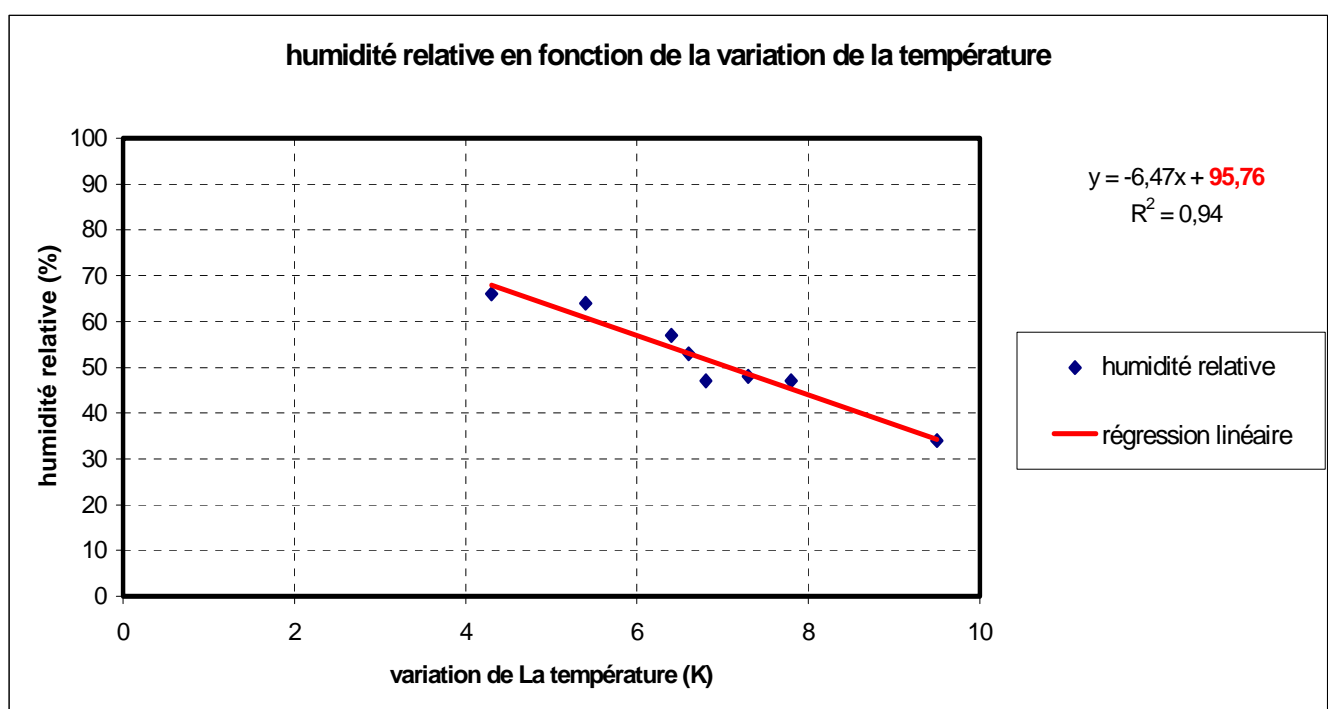
Lorsque l'on met en marche le ventilateur, l'eau qui se trouve sur la compresse s'évapore. La température du thermomètre humide diminue. Moins l'air sera humide et plus l'eau sur la compresse va s'évaporer. Lorsque l'on attend 2 à 3 minutes après le démarrage du ventilateur la température du thermomètre humide se stabilise. On note alors les deux températures. On calcule l'écart entre les deux températures. Plus l'écart est grand et plus l'air est sec. Si l'air est saturé en eau alors les deux températures sont identiques.

e) Remarque sur la mesure de la pression.

Le ventilateur fonctionne toujours à la même vitesse. Il amène donc toujours le même volume d'air sur les thermomètres. Plus la pression est importante et plus (à volume constant) la quantité d'air qui passe sur les thermomètres est importante. La valeur de la pression peut donc influencer la mesure de l'humidité.

f) Résultats.

Nous avons étalonné le psychromètre pour des températures inférieures à 70°C. Nous avons obtenu un courbe représentant l'humidité relative en % en fonction de l'écart de température. Nous avons modélisé cette représentation par une droite (voir figure ci-après)



#### g) Exploitations :

Le résultat est cohérent. En effet, d'après la courbe si l'écart de mesure est nul alors l'humidité est quasiment de 100%. Si l'on prend en compte la pression (diviser la variation de température par la pression) alors les résultats ne changent pas. Lors des mesures les pressions ont très peu varié (entre 1016 et 1019 hPa). On peut donc utiliser ce dispositif pour avoir une estimation de l'humidité relative de l'air.

#### 2. *Luxmètre.*

Le luxmètre mesure de façon rapide l'éclairement, c'est-à-dire la puissance lumineuse reçue par unité de surface. ( $W/m^2$ ). Le luxmètre est composé d'un boîtier et d'une cellule.

Nous avons utilisé le luxmètre à notre disposition pour les premières expériences.

Sur une de nos mesures on a obtenu par exemple :  $E = 1400 \text{ lux}$ . Pour obtenir  $E$  en  $W/m^2$ , il faut multiplier par  $1,46 \times 10^{-3}$ . On obtient alors  $E = 1,96 \text{ W/m}^2$ .

Cependant cet appareil facile à utiliser n'est pas adapté à notre projet. Effectivement, il donne une puissance lumineuse, c'est-à-dire qui ne concerne que la lumière visible. Le rayonnement du soleil n'est pas uniquement composé de lumière visible, il y a aussi les infrarouges les ultraviolets qui vont également contribuer au réchauffement de l'eau. Nous avons donc du choisir un autre système de mesure dont nous parleront dans le paragraphe VII.



#### 3. *Température.*

Nous avons du mesurer la température à l'intérieur et à l'extérieur de la boîte :

- La température extérieure a été mesurée par une station météo placée à côté de la boîte lors des mesures.
- La température intérieure était mesurée par le psychromètre.

#### 4. *Pression.*

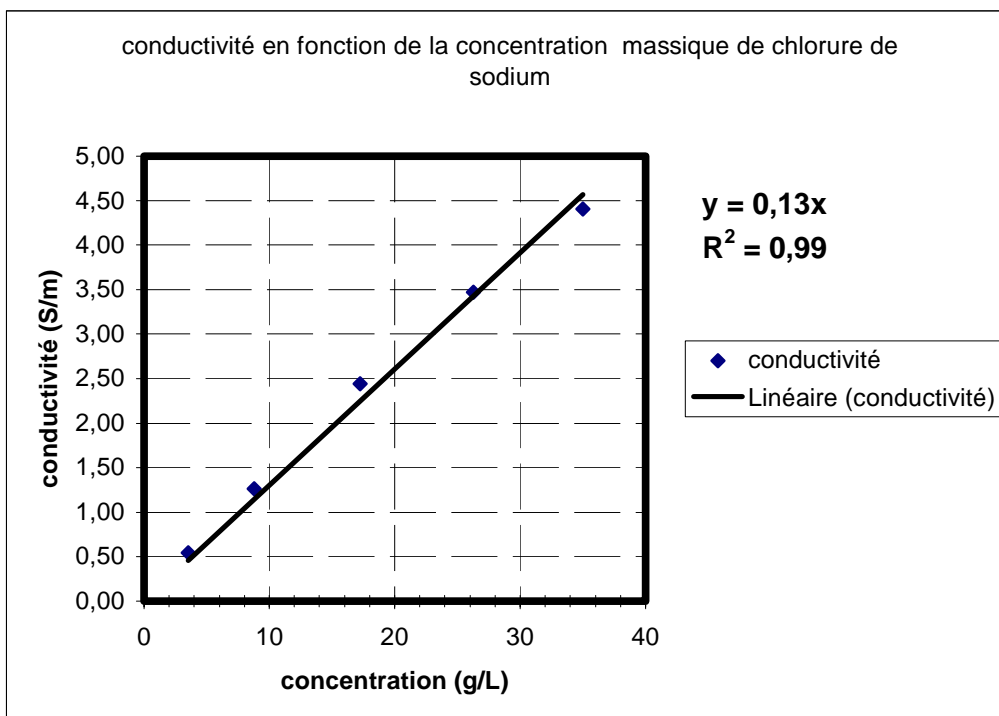
Les pressions extérieures et intérieures ont été mesurées par des manomètres.

### C. *Mesure de la qualité de l'eau.*

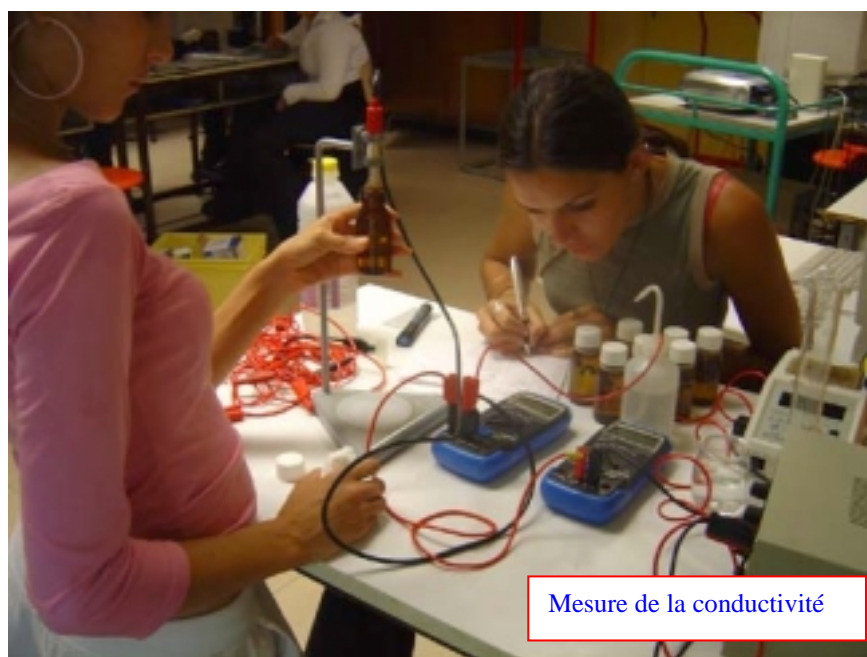
Pour contrôler la qualité de l'eau, nous avons choisi de mesurer deux critères :

#### 1. *Ions (conductimétrie).*

Pour mesurer la teneur en sel, nous avons mesuré la conductivité de la solution. Pour convertir la conductivité en concentration de chlorure de sodium. Nous avons, dans un premier temps, mesuré la conductivité de solutions ayant différentes concentrations de chlorure de sodium. Nous avons tracé la courbe de la conductivité en fonction de la concentration.



Cette courbe peut être modélisée par une droite qui passe par l'origine. On obtient  $\sigma(\text{S/m}) = 0,13 \cdot c(\text{g/L})$ . A partir de cette relation nous pouvons déterminer facilement la concentration lorsque l'on a mesuré la conductance.



## 2. Bactéries.

En général les bactéries sont traitées par rajouts de chlore, ce qui peut être complémentaire à notre projet qui élimine les métaux lourds. Pour mesurer le taux de bactérie il faut faire des cultures dans des boîtes de pétri et les mettre à l'étuve pendant une semaine. Au bout de cette semaine, les points blancs correspondent au nombre de bactérie présentes dans le volume d'eau étudié.

### D. Résultats.

#### 1. Points positifs

- Récupération de l'eau désalinisée.
- Manipulation facile.
- Matériel peu coûteux, facile à se procurer montage simple à réaliser.
- Rendements convenables (1 flacon par jour)

- Boite isotherme.

### *2. Points négatifs*

- Plastique noir non résistant (chaleur, sel)
- Formation de moisissure.
- Le sel reste au fond
- Gouttière déformée (chaleur, sel)



### *3. Choses surprenantes.*

L'eau met du temps à s'évaporer, l'expérience a mal fonctionné les 3 premiers jours( 1 flacon par jour). Au bout de 3 jour, l'eau a coulé à flot (5 à 6 flacons par jour), la température intérieure était très élevée (jusqu'à 86°C). Il n'y avait jamais 100% d'humidité.



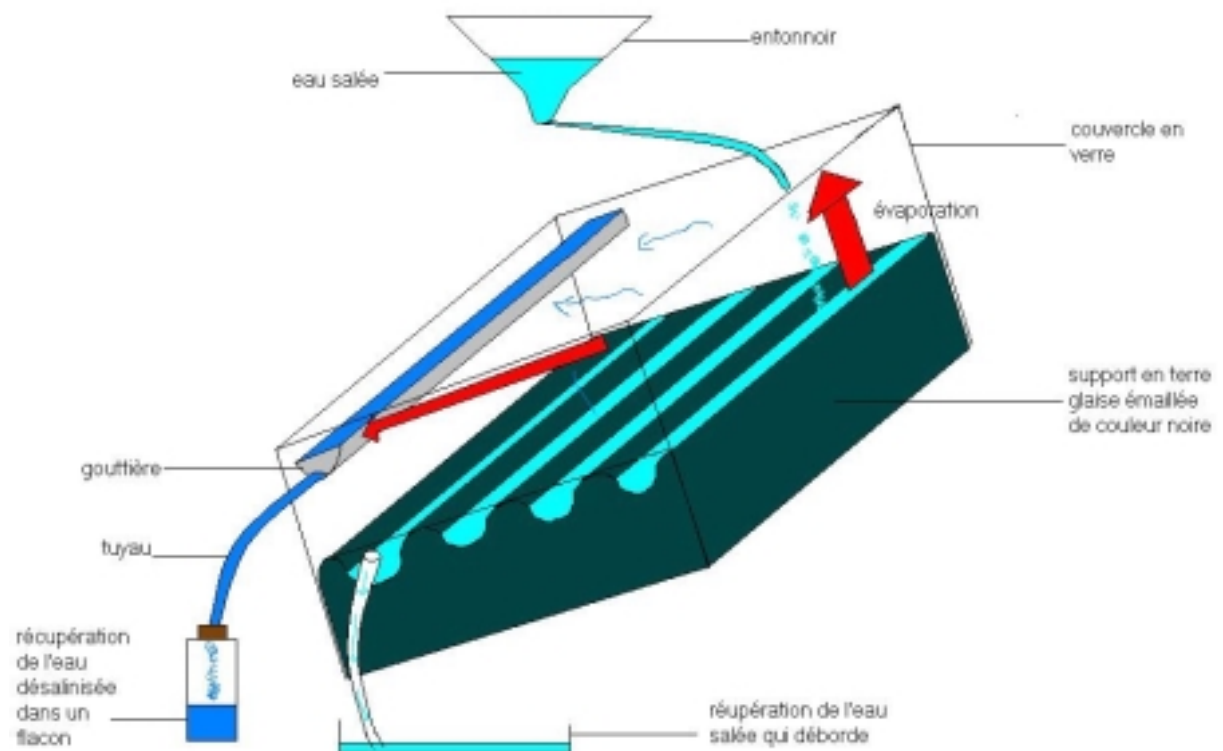
## VII. Amélioration du procédé.

### A. Modifications apportées à partir des défauts de l'expérience longue.

#### REMARQUE

Nous avons eu un problème lors de la réalisation du premier support en terre cuite, il n'était pas assez sec au moment de l'enfourner. Il a été endommagé, nous sommes en train d'en refaire un autre. Nous vous exposerons nos premiers résultats lors de notre présentation le 15 décembre.

Le bois de la première expérience a été remplacé par de la terre cuite émaillée. Il y aura ainsi moins de problème de détérioration et d'usure. Pour réguler l'épaisseur du film d'eau à épurer nous avons donné à la surface du montage une forme de « vagues ».



### B. Banc d'essai ( pour des exploitations sans le soleil ).

Nous avons réalisé un banc d'essais à armatures métalliques sur lequel nous pouvons placer d'un côté l'épurateur à tester et de l'autre une lampe halogène de forte puissance (500W) pour se rapprocher au plus près des expériences réalisées à l'extérieur. Sur ce banc de montage nous pouvons mesurer la puissance du rayonnement reçu par l'épurateur ce qui nous permet de prévoir le comportement de l'épurateur à l'extérieur. (voir la photographie du banc dans le paragraphe VI.C.2.c)

### C. Mesures.

Suite aux précédents essais, nous avons décidé de sélectionner un nombre limité de paramètres à mesurer. Ceux-ci nous permettront d'interpréter et de modifier les caractéristiques du prototype.

#### 1. Conductimétrie, débit et température

Le prototype n'étant pas achevé, nous réaliserons ces mesures ultérieurement.

#### 2. Mesure de la puissance du rayonnement reçu.(corps noir)

##### a) Pourquoi est il nécessaire de réaliser cette mesure ?

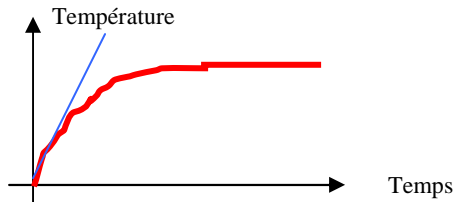
L'expérience ne peut pas toujours se faire en plein air dans les mêmes conditions. Par exemple, en hiver nous devons tester les épurateurs à l'intérieur avec une lampe suffisamment puissante pour les faire fonctionner. Pour pouvoir comparer les tests nous devons mesurer toute la puissance reçue par rayonnement.

### b) Principe.

Pour mesurer la puissance du rayonnement reçue il faut un corps qui absorbe tout ce rayonnement. : un corps noir (mat) de préférence.

Lorsque le corps noir est exposé à une source lumineuse la puissance reçue est alors en partie stockée par le corps noir et en partie redonnée à l'environnement si le corps noir n'est pas bien isolé.

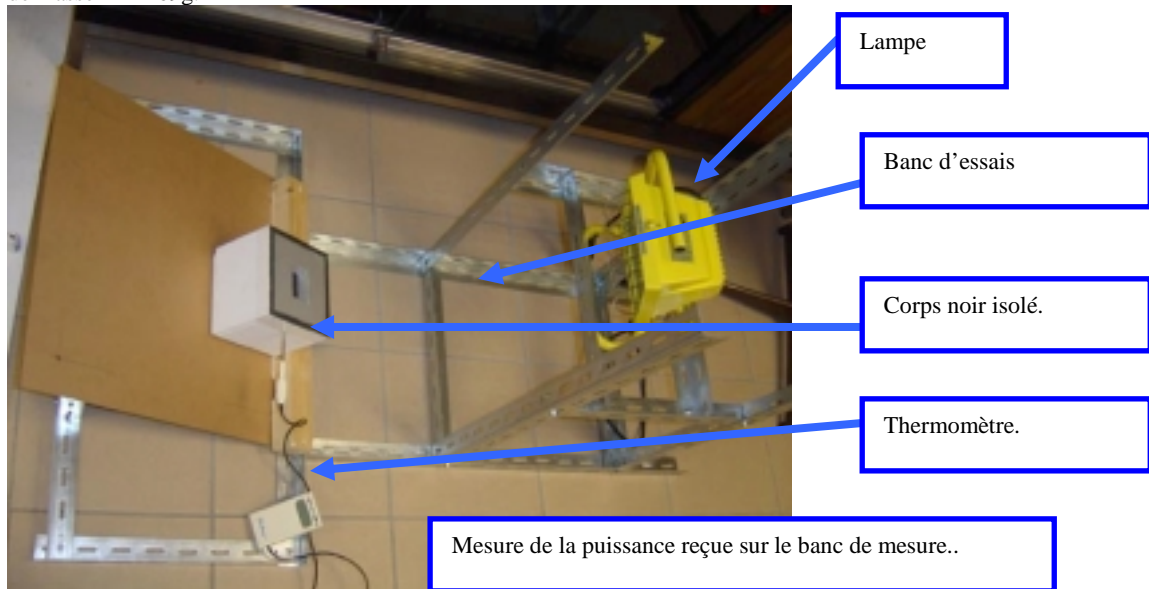
Plus la température du corps noir augmente, et plus l'énergie cédée par celui-ci à l'environnement est importante. La température montera de moins en moins vite jusqu'à ce qu'elle atteigne un palier. Comme l'indique la figure ci-dessous.



Lorsque la température commence à augmenter le corps noir ne cède pas encore de chaleur à l'extérieur. On détermine donc la variation de température à l'instant zéro. On obtient alors la chaleur reçue par le corps noir. Comme il n'y a pas de perte, cette chaleur correspond au rayonnement reçu. Pour obtenir la puissance du rayonnement il faut diviser par le temps, c'est-à-dire prendre la pente de la courbe à l'origine.

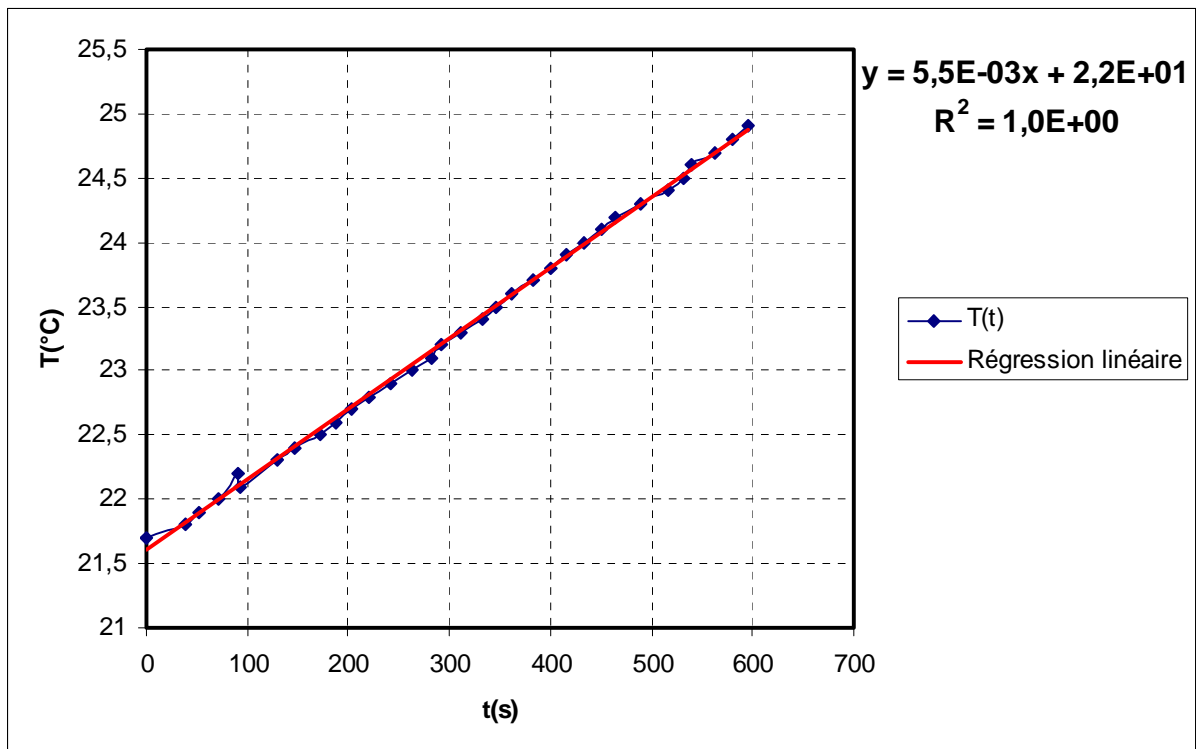
### c) Dispositif.

Pour minimiser les pertes, nous avons isolé le corps noir (voir ci-dessus). C'est un parallélépipède en cuivre peint en noir mat de masse  $m = 269g$ .



### d) Résultats.

Nous avons mesuré la température du corps noir en fonction du temps. Au temps zéro nous avons allumé la lampe. Nous obtenons la courbe ci-après.



e) Remarque.

Nous obtenons une droite que nous avons modélisée. On peut donc considérer que écarts de températures ou nous avons fait les mesures les pertes sont négligeables. Sinon la variation de température aurait diminué au cours du temps.

f) Calculs.

Nous avons obtenu la pente de la droite :  $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 5,5 \times 10^{-3} K.s^{-1}$

On sait que la capacité thermique du cuivre est  $C_p = 385 J.kg^{-1}.K^{-1}$  la masse du corps noir est  $m = 269g$

D'où  $P = \frac{C_p \times m \times \Delta T}{\Delta t} = 0,56W$ . C'est une énergie divisée par un temps, c'est donc bien une puissance.

Or la surface exposée au rayonnement du corps noir est :  $S = 26,3 cm^2$  ou  $S = 26,3 \times 10^{-4} m^2$

Donc  $E = \frac{P}{S} \Rightarrow E = \frac{0,56}{26,3 \times 10^{-4}} = 213W.m^{-2}$

Cette valeur est tout à fait cohérente étant donné que la lampe à une puissance de 500W, qu'il y a des pertes et quelle n'éclaire pas une surface de  $1m^2$ .

g) Comparaisons.

Si on compare à la valeur donnée par le luxmètre dans les mêmes conditions :  $E = 680 lux = 1W/m^2$ .

Ce qui montre bien que la puissance rayonnée n'est pas uniquement due au rayonnement lumineux.

Le rayonnement solaire terrestre moyen est  $E = 1kW/m^2$ , c'est à dire 5 fois plus que celui obtenu avec la lampe. On peut donc en déduire quel sera le comportement de l'épurateur dans des condition de fonctionnement réelles.

## VIII. Conclusion

Objectifs atteints : amélioration du procédé d'épuration, création d'un banc d'essais. Tout en utilisant des systèmes de mesures simples et fiables.

Le pas suivant sera de diffuser et de présenter ce nouveau système d'épuration lors d'un stage organisé par M. Veyrenche, puis de faire des essais de cet appareil sur le terrain, dans les conditions du terrain, avec du personnel formé par M. Veyrenche.

Nous apporterons les modifications qui nous seront suggérées après cette campagne d'essais (si cela est nécessaire). Puis nous diffuserons le système d'épuration ainsi obtenu.