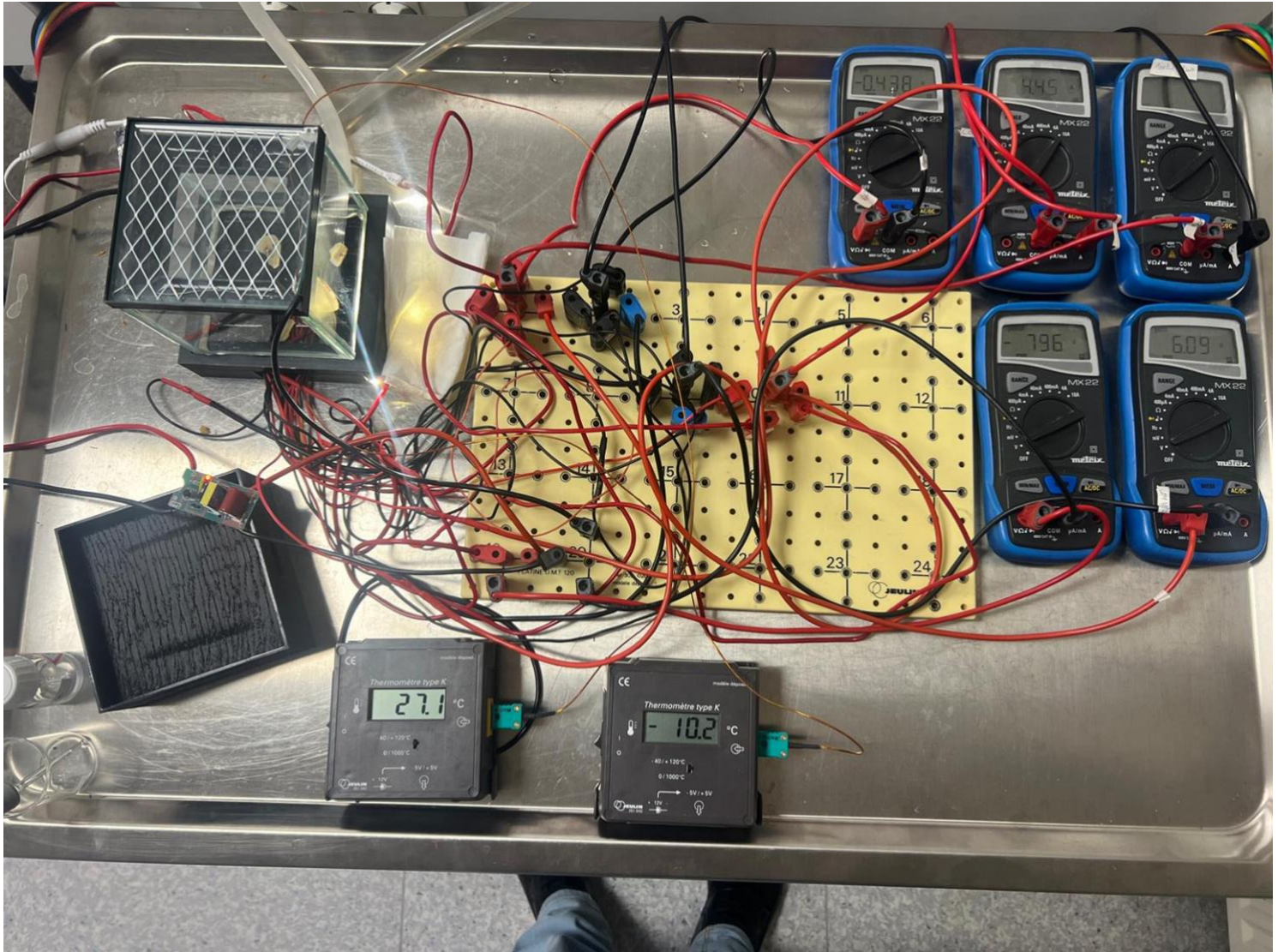


La chambre à Brouillard

Par les élèves de l'atelier de physique des deux infinis

du Lycée de Moutiers



CONCOURS
Collège Lycée **CGÉNIAL**

Sciences à l'École



FONDATION
CGENIAL

Présentation de l'équipe

Ce projet de chambre à brouillard est mené dans le cadre de l'atelier de physique des deux infinis du Lycée de Moutiers. Les élèves se retrouvent une heure par semaine sur la pause de midi.

A l'atelier on traite de particules élémentaires, d'interactions fondamentales, d'astrophysique, d'astronomie, d'espace ...

On y fait des jeux, des maquettes, des activités expérimentales, des sorties d'observations astronomiques et des sorties de découverte de laboratoires scientifiques.

Les activités sont libres, les élèves peuvent choisir un jeu, une expérience, ou un projet.

Tous les élèves de l'atelier ont participé au projet de chambre à brouillard :

Alzetto Timothée
Bourgeolet Anna
Rose Tao
Scioscia Lucas
Wohlschlegel Flavio

Les rôles de chacun sont libres, pour cadrer l'avancée du projet, les élèves remplissent à chaque séance un cahier de laboratoire permettant de noter les résultats obtenus et de définir les objectifs des prochaines séances.

On notera les participations particulières de certains élèves pour les tâches suivantes :

Choix du projet : Lucas qui avait toujours rêvé de faire une chambre à brouillard

Réalisation de la vidéo : Anna, Flavio, Timothée et Lucas qui font également partie du club WebTV du Lycée

Rédaction du compte rendu : Anna et Timothée

Rédaction du résumé : Anna

Sur ce projet nous avons la chance d'échanger avec Yannick Arnoud du Laboratoire de physique subatomique et cosmologie IN2P3 de Grenoble. Il est venu il y a 2 ans au lycée faire une leçon expérimentale sur l'antimatière et depuis il suit les avancés du projet, en nous conseillant en particulier lorsque nous nous trouvons devant des impasses.

Yves Duarte est professeur de physique chimie et initiateur de l'atelier, il joue le rôle de conseil, de référent en science physique et en sécurité.

Guillaume Klaus est professeur de mathématique, il joue également le rôle de référent en science, en sécurité et à initier les élèves à la programmation de l'imprimante 3D.

Introduction :

Dans le cadre de l'atelier de physique des deux infinis du Lycée de Moûtiers, nous observons le ciel nocturne et ses corps célestes. Les télescopes et lunettes astronomiques nous permettent une fenêtre sur l'infiniment grand.

Mais à l'atelier de physique des deux infinis nous n'avons pas encore de fenêtre nous permettant d'observer l'infiniment petit... C'est à ce moment que l'idée de concevoir une chambre à brouillard est venue.

La chambre à brouillard est un dispositif servant à détecter les particules émises lors de la désintégration radioactive. L'objectif est de créer un gradient thermique important entre le haut et le bas de la chambre, en refroidissant le bas et éventuellement réchauffant le haut. On ajoute alors de l'alcool dans des éponges (remplacés par des rigoles récemment, placées en haut, qui est alors vaporisé. En refroidissant, il condense autour des particules émises par radioactivité, celles-ci ionisent l'air faisant office de noyaux de condensation, formant alors des traces visibles. Un champ électrique peut être appliqué dans la chambre, ainsi toutes les molécules d'air ionisés sont plaquées en bas dans la chambre, ce qui permet l'observation de beaucoup plus d'événements.

Dans un premier temps l'objectif est d'observer ces traînées de condensation issue de particules alpha α émise par une source radioactive.

Mais le but final est d'observer les particules alpha α , Beta moins β^- , Beta plus β^+ sans utiliser de source radioactive et même des muons, fruits de l'interaction des rayons cosmique avec les hautes couches de l'atmosphère...

Problématique :

Après une réflexion rapide nous étions partis l'an dernier sur la problématique :

Comment détecter et observer les particules de désintégrations radioactives obtenues grâce à notre chambre à brouillard ?

Comme nous avons réussi à réaliser ce projet en fin d'année dernière et au début de cette année, notre professeur, M.Duarte a fait la remarque que les bananes étaient radioactives. Dans un élan de curiosité, nous nous sommes renseignés sur le sujet et avons trouvé que, certes, les bananes étaient radioactives, mais que les noix du Brésil l'étaient tout autant. C'est pour cela que nous avons décidé de remplacer la barre de thorium par ces fruits (bananes séchées et noix du Brésil) afin d'étudier les particules qui émanent de ces fruits et de

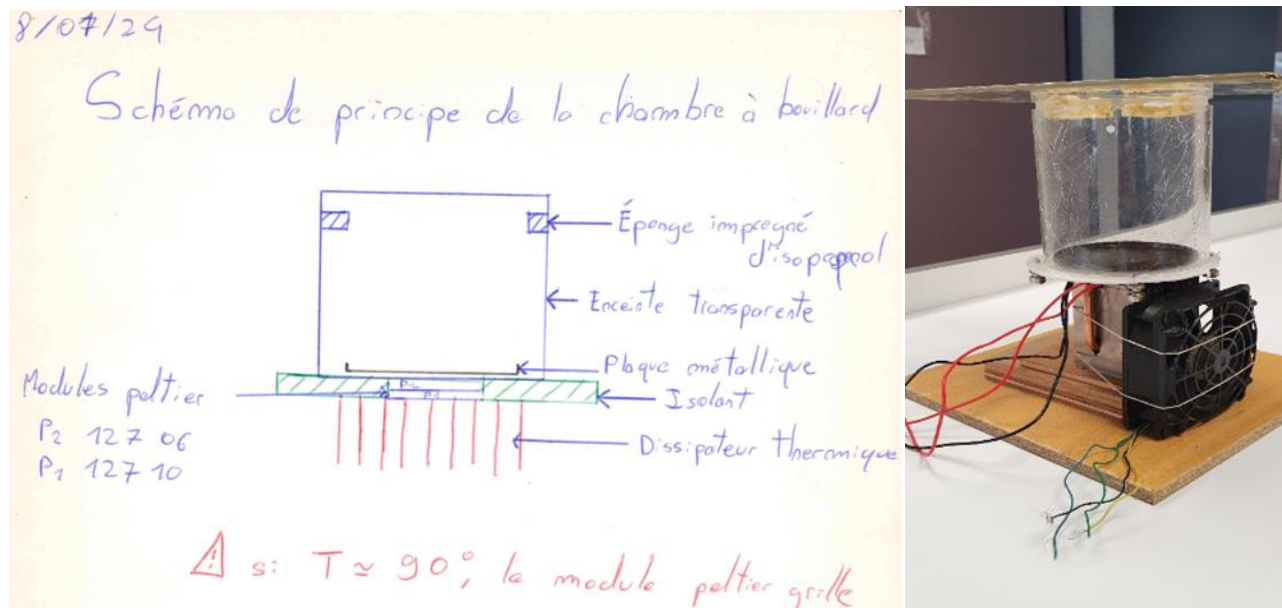
confirmer notre hypothèse : les bananes émettent majoritairement des particules beta moins, tandis que les noix émettent majoritairement des particules alpha.

Nous en sommes donc venus à cette problématique :

Est-ce bien des particules beta moins qui se dégagent des bananes séchées et des particules alpha qui se dégagent des noix du Brésil, et comment le vérifier rigoureusement ?

Développement de la chambre :

Prototype 1 : Chambre à brouillard thermoélectrique avec un échangeur thermique à air



a. **Hypothèse et choix du matériel :**

- **Choix de la source de froid :**

La première idée de source de froid a été la carboglace. Cette idée a été rapidement abandonnée à cause du coût de la carboglace et du fait qu'elle ne soit pas réutilisable. Nous nous sommes alors tournés vers un moyen réutilisable et moins coûteux : les cellules pelletiers. En plus d'être peu coûteuses et réutilisables elles sont également faciles à utiliser et nous avons le matériel nécessaire pour mettre en place des circuits électriques.

- **Choix de l'échangeur thermique :**

Avec peu de moyens nous avons cherché à utiliser un maximum de matériaux déjà présents au lycée ou des matériaux de récupération. Nous avons donc récupéré des radiateurs et ventilateurs d'ordinateurs hors service.

- **Choix de l'enceinte transparente :**

Après avoir utilisé un cylindre en plexiglace qui a très mal vieilli lors des premières expériences, nous cherchions un matériau transparent et résistant à l'isopropanol (l'alcool alors utilisé pour le brouillard). La bouteille en plastique de l'alcool a alors été un choix évident. Nous avons découpé les extrémités de la bouteille pour avoir notre enceinte transparente cylindrique.

- **Choix de la source radioactive :**

Nous n'avons pas de source radioactive au Lycée. Après quelques recherches il nous est apparu que le plus facile serait de trouver une électrode en tungstène thorié, c'est-à-dire en tungstène additionnée d'oxyde de thorium 232, qui est utilisée lors du soudage TIG (tungsten inert gas). Nous nous sommes ainsi rapproché d'un métallurgiste local qui a bien voulu nous céder une de ses électrodes.

Le thorium présente plusieurs avantages le premier étant de ne pas être trop nocif car il émet lors de sa désintégration uniquement des particules alpha et pas en quantités suffisante pour être dangereuse. Il a en plus une demi-vie de près de 14 milliards d'années et de ce fait ne va pas être totalement désintégré, même loin de là, durant toute la période sur laquelle nous travaillons sur notre projet.

b. **Description et expériences :**

Nous avons commencé par identifier les côtés chauds et froids des cellules pelletiers et mesurer quelle température nous pouvions atteindre avec une seule pelletier. Cela était insuffisant car nous avions des températures à peine négatives donc loin des -30°C nécessaires. Nous avons donc essayé de mettre une pelletier plus puissante (P1) pour en refroidir une moins puissante (P2) et donc avoir une température plus froide.

Nous avons cherché un moyen de faire baisser la température en essayant de rendre les pelletiers plus performantes. Réduire l'intensité du courant les traversant était très contre intuitif mais pourrait fonctionner. En effet en réduisant l'intensité du courant grâce à une résistance variable nous réduisons l'effet Joule qui réchauffe les pelletiers et donc potentiellement la température de la plaque.

Cette association nous a permis d'avoir une température minimale de -12°C .

Test et mesure de 6 versions 1 refroidit à air

P1 (U, I)	6V 1,4A	6V 1,4A	5,2V 1,3A	3,8V 0,9A
P2 (U, I)	18V 4A	12V 3,9A	12V 3,9A	12V 2,5A
T° plaque métallique	0°	-8°	-11°	-12°
T° de dissipation thermique	48°	37°	36,2	35,3

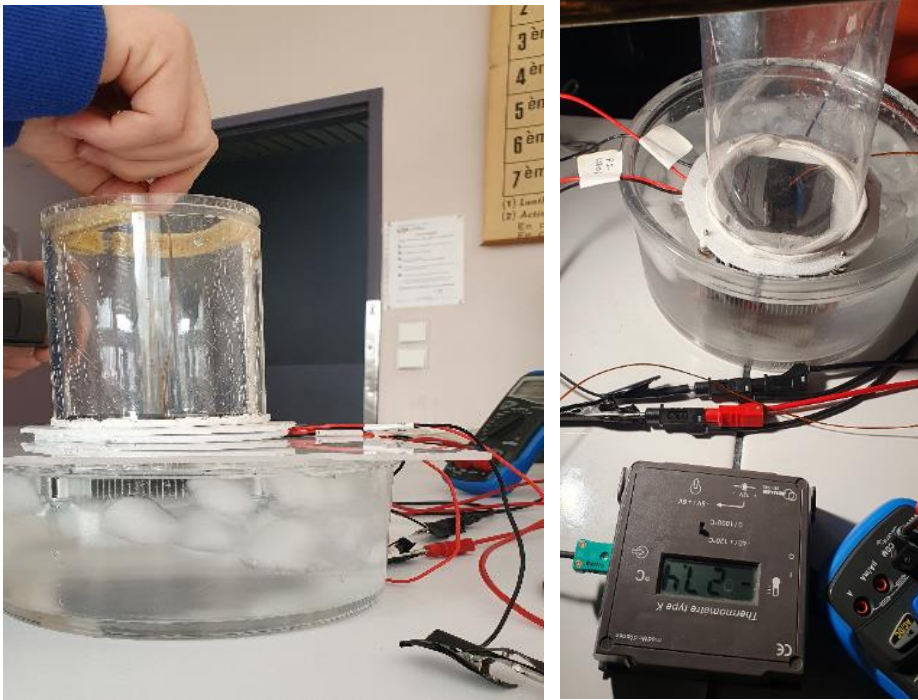
On remarque qu'une intensité plus forte ne donne pas forcément une température plus basse : c'est à cause de l'effet Joule.

L'effet Joule : un conducteur parcouru par un courant I , dégage de la chaleur tel que la puissance perdue par effet Joule : $P_J = R \cdot I^2$

c. **Conclusion**

Ce premier prototype n'était pas fonctionnel mais nous a confirmé que les cellules pelletiers étaient adaptées mais pas le système de refroidissement à air. Un système de refroidissement plus efficace devrait permettre d'avoir des températures plus basses et donc du brouillard.

Prototype 2 : Chambre à brouillard thermoélectrique avec un échangeur thermique à eau



a. **Hypothèse et amélioration**

- **Choix de l'échangeur thermique à eau**

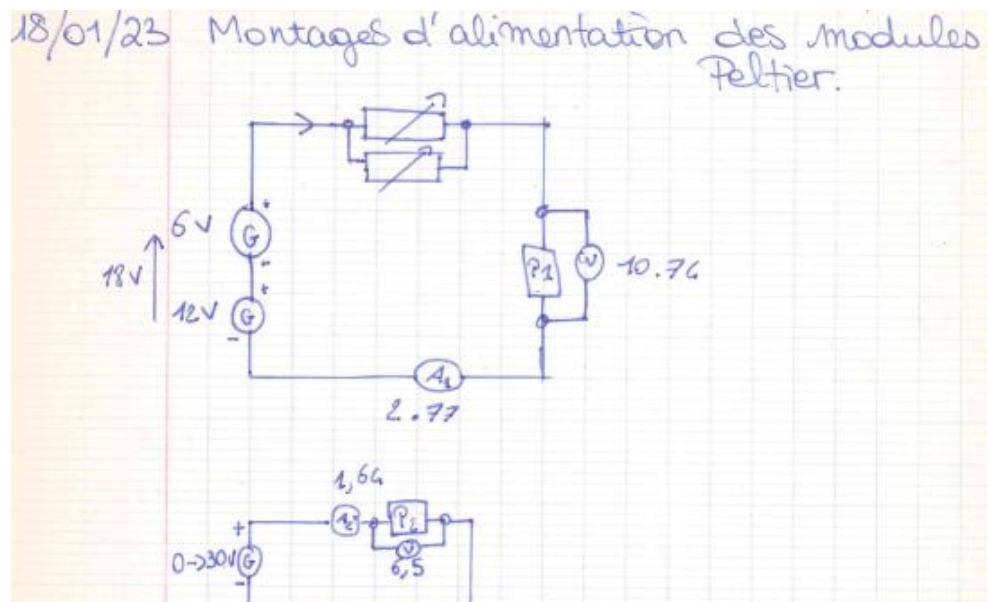
Face à l'échec de notre refroidisseur à air l'idée de plonger le radiateur dans un bac d'eau avec des glaçons pour la maintenir froide nous est venue. Cela devrait permettre de mieux dissiper la chaleur du radiateur et donc des pelletiers ce qui devrait permettre d'éviter la surchauffe des pelletiers et surtout d'avoir une température de la plaque métallique plus basse.

b. **Description et expériences**

11/01/24 Test de la version V2 refroidit à l'eau + glace

		plaque ronde			plaque carré	2ème essai - cylindres sans adhésif
P ₂	U (V)	4,8V	4,7V	6,9V	4,6V	2,9V
	I (A)	1,3A	1,15A	0,6A	1,22A	0,83A
P ₁	U (V)	12V	18V	10,7V	10,45V	10,9V
	I (A)	3,24	4,42A	2,89A	2,70A	2,68A
T [°] froide		-22°C	-15°C	-29°C	-22°C	-22,7°C
T [°] chaude		15°C	30°C	-79°C	-41,2°C	-1°C

* Dissipateur long



Nous avons testé notre système de refroidissement mais nous nous sommes rapidement retrouvés confrontés à un problème : l'eau autour du radiateur chauffe et ne refroidit plus suffisamment le radiateur après quelques minutes de fonctionnement. Nous avons donc fixé une hélice à un moteur tenu à la main via une tige en métal. Cela nous a permis d'homogénéiser la température de l'eau mais a causé un autre problème : l'hélice envoie de l'eau autour du bac et donc à proximité des générateurs électriques. Nous avons donc abandonné l'idée de l'hélice et nous l'avons remplacée par une pompe d'aquarium.

25/01/23 Tests de la version V2 refroidit à l'eau + glace

Plaque		Plaque refroidisseur long	Plaque refroidisseur long + asblour
P ₂	U(V)	4.8	4.4
	I(A)	1.17	1.21
P ₁	U(V)	9.59	9.68
	I(A)	2.48	2.62
T° froide	-28°	-28.4° C (15.02.2h)	
T° chaude	11°		
Batterie			3.7 0.5

En faisant bouger l'eau, la T° froide a descendu de 4°C.
→ trouver une solution pour éviter.

Avec notre refroidissement à eau et notre pompe d'aquarium nous avons réussi à atteindre des températures de près de -20°C ce qui est mieux mais toujours pas suffisant.

Nous avons encore travaillé sur la tension d'alimentation des pelletier. Pour la pelletier du dessous P1 la tension est passé de 18V à 9,68V et son intensité de 4A à 2,62A. Pour celle du dessus P2 nous avons passé la tension de 6V à 4,4V et son intensité de 1,4A à 1,17A. Cela nous a permis d'atteindre une température de -28,4°C. Nous n'avions toujours pas de brouillard mais en chauffant le haut de l'enceinte avec un sèche-cheveux nous avons augmenté l'écart de température entre le haut et le bas ce qui nous a permis d'observer notre premier brouillard et nos premières traces.



Cependant avoir un bac d'eau à proximité de circuits électriques n'est pas très sécuritaire et l'eau chauffe rapidement et les glaçons fondent vite causant des difficultés pour maintenir la température. De plus l'enceinte présente des rayures causées notamment par les manipulations et le nettoyage. Notre dernier problème à régler est le temps de mise en place qui est trop long et réduit le temps d'expérimentation à cause du manque d'organisation et de l'emmêlement des câbles électriques.



c. **Conclusion**

Ce modèle est fonctionnel mais possède certains problèmes notamment en terme de sécurité et de qualité de l'observation. Des améliorations pourraient grandement améliorer la chambre. Nos principaux problèmes sont la proximité entre le bac à eau et les circuits électriques et la durée de mise en place en grande partie à cause des branchements électriques.

Nous pouvons également améliorer la qualité d'observation en changeant d'enceinte car celle-ci se raye en partie lors de la manipulation et du nettoyage.

Nous devons aussi trouver un autre moyen d'avoir une plaque métallique noire car la peinture noire utilisée ne tient pas bien.

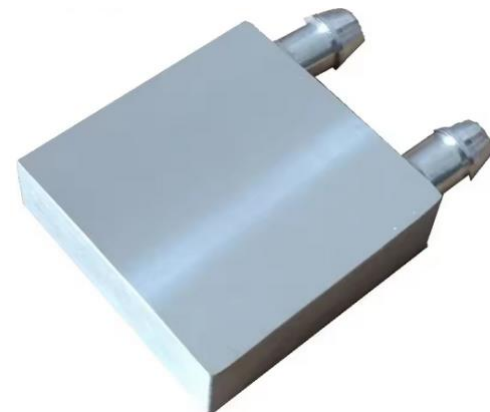
Nous avons encore remarqué que le brouillard ne couvre qu'un faible volume en bas de la chambre en nous ne pouvons donc pas observer les événements se passant au-dessus.

Prototype 3

a. **Hypothèses et améliorations**

· **Choix de l'échangeur thermique**

Le refroidissement à l'eau fonctionnait mais l'eau chauffait rapidement et le système n'était pas vraiment sécuritaire. Nous avons donc opté pour un échangeur à eau qui en plus de créer un circuit d'eau ne passant pas en dehors de tuyau, ce qui règle déjà le problème de la sécurité, qui s'est révélé être très efficace. Cela est dû au fait que l'eau est en circuit ouvert et donc que l'eau qui a déjà servi à refroidir est rejetée ce qui maintient la température de l'échangeur.



- ***Choix de rajouter des modules pelletiers***

Comme nous étions en train de revoir l'ensemble du projet pour faire une toute nouvelle version de la chambre, nous avons eu l'idée de rajouter des cellules pelletiers et donc de passer de 1x2 à 4x2 pelletiers. Cela nous permet d'avoir une plus grande surface froide et donc d'observer plus d'évènements. Ce changement nécessite cependant que l'échangeur thermique à eau soit suffisamment efficace.

- ***Choix de l'enceinte transparente***

Comme l'enceinte en plastique se rayait facilement, nous sommes passés à une enceinte en verre qui conserverait la transparence et la résistance à l'alcool mais ne devrait plus se rayer même lors du nettoyage. Nous nous sommes rapproché d'une entreprise local spécialisé dans les vitres et fenêtres. Celle-ci a bien voulu nous offrir les carreaux découpés aux bonnes mesures pour notre expérience.

- ***Choix de la plaque métallique***

Ni le ruban adhésif ni la peinture ne résistait à l'alcool alors nous avons cherché à rendre la plaque noire sans ajouter d'élément par-dessus. L'anodisation d'une plaque d'aluminium devrait permettre d'avoir une couleur noire qui résisterait aux expériences.

Nous avons suivi le protocole d'anodisation suivant :

<http://jantzem.n.free.fr/TP%20CH%20SP/TP10-anodisation%20Al.doc>

Nous avons utilisé la poudre d'anodisation noire suivante :

<https://www.tifoo.de/fr/couleur-d-anodisation-noire-10-g>

Il a été nécessaire de réaliser plusieurs expériences pour maîtriser le protocole. Ensuite les meilleurs résultats ont été obtenue avec trois anodisations successives.

C'est une étape très longue, nous avons travaillé une dizaine d'heures pour maîtriser le protocole et anodiser une plaque. Et lorsque on décide de changer un petit peu la taille de la plaque d'aluminium pour l'adapté au socle il faut tout recommencer !

Vendredi 73 décembre :

- Jour de l'anodisation test : Nous avons réalisé le protocole d'anodisation sur une plaque teste

A noter : Δ en concentration fort élevée des produits utilisés
Bien porter lunettes gant et blouse.

Pour l'étape avec l'acide nitrique manipulation par le professeur.

↳ lors de l'électrolyse nous avons atteint seulement le 7,3 A en lieu des 2 requis.

Le test est un échec X.

- Anodisation de la plaque finale.

Nous avons le bon anodage grâce à un nouveau générateur

A noter : Après le lavage de la plaque nous l'avons pas essuyer au papier pour laisser sécher

- On peut également remarquer que l'électrolyse de la plaque crée plus de petit bulle que précédemment

Considération est un échec même si on observe des petites de 1mm.

2^{ème} essai avec que 7,5^{amp} plongé à la vertical :

Le test est positif ✓

7,5 amp de la plaque nous montre une couleur blanche qui tien

Seance prochain : Anodisation de tout la plaque dans un becher plus étroit.

Vendredi 10 janvier :

↳ Suite de l'anodisation : Nous avons réitéré le protocole en immergant la plaque de Fer et on la laisser 30 min (3 amp) :

- Expérience réussit, anodisation léger mais présente

On refait l'anodisation sur la partie non anodisée avec les même facteurs :

- Résultat plaisent même si anodisation pas aussi prononcée sur chaque parties.

Ci-dessous, atelier anodisation :



· **Choix de mettre un champ électrique**

Nous espérons pouvoir observer d'autres particules que celles issues de la désintégration du thorium comme des beta+ ou des beta- et pourquoi pas des muons.

L'ajout du champ électrique devrait permettre d'observer ces particules en plaquant les molécules d'air ionisé dans l'enceinte en bas de la chambre dans la zone de brouillard. Pour réaliser ce champ nous avons démonté une raquette à mouches électrique pour en récupérer les grilles et le condensateur. Nous avons fait quelques soudures sur la carte de la raquette, sur la plaque d'aluminium et sur une grille de la raquette placée au-dessus de la chambre. Nous avons ainsi 1100 Volt de tension sur une distance de 10 cm entre la plaque froide et la grille supérieur pour instaurer un champ électrique d'environ 100 V.cm^{-1} .



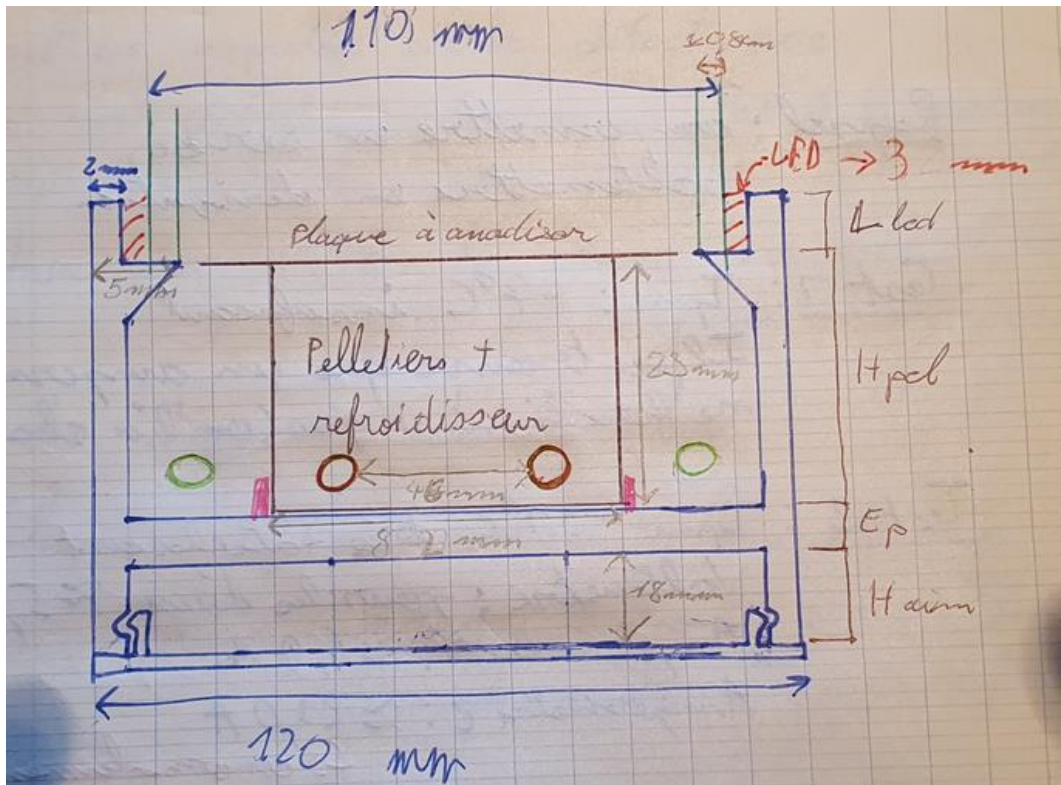
· **Choix de mettre un champ magnétique**

Nous avons voulu ajouter un champ électrique pour essayer de différencier les particules beta+ des beta-. Pour le mettre en place nous avons simplement ajouté un espace sous le socle pour pouvoir disposer des aimants en dessous de la chambre.

· **Choix d'élaborer le socle et le couvercle avec une imprimante 3D**

L'impression 3D est peu coûteuse, polyvalente et facile à mettre en place. Nous nous sommes alors attelés à la modélisation 3D d'un socle permettant de mettre en place toutes les améliorations citées avant ainsi que d'une pièce pour le dessus de la chambre comprenant une gouttière pour l'alcool et de quoi accueillir la grille du champ électrique et les plaques de verre nous en protégeant.

Ci-dessous schéma de principe du socle puis programmation pour l'impression 3D

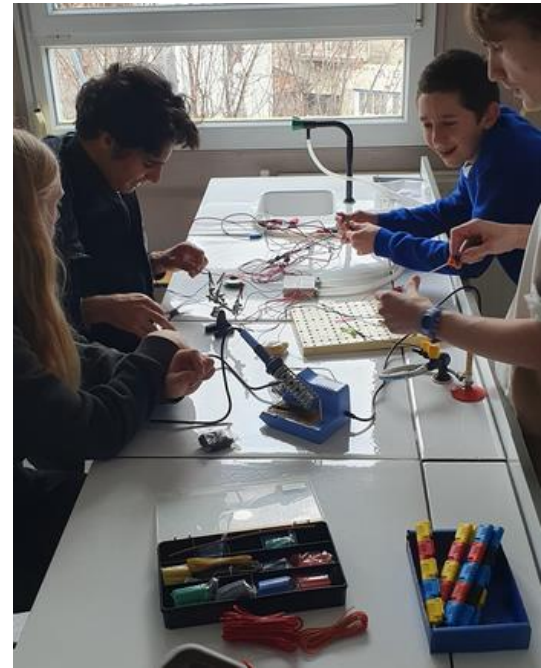


• **Nécessité d'un montage électrique plus propre pour éviter les courts circuits**

Nous avons soudé toutes les connexions électriques avec les éléments de la chambre ne nous laissant plus qu'à raccorder les circuits aux générateurs.

C'est un gain de sécurité et cela permet de limiter les problèmes de faux contact électrique.

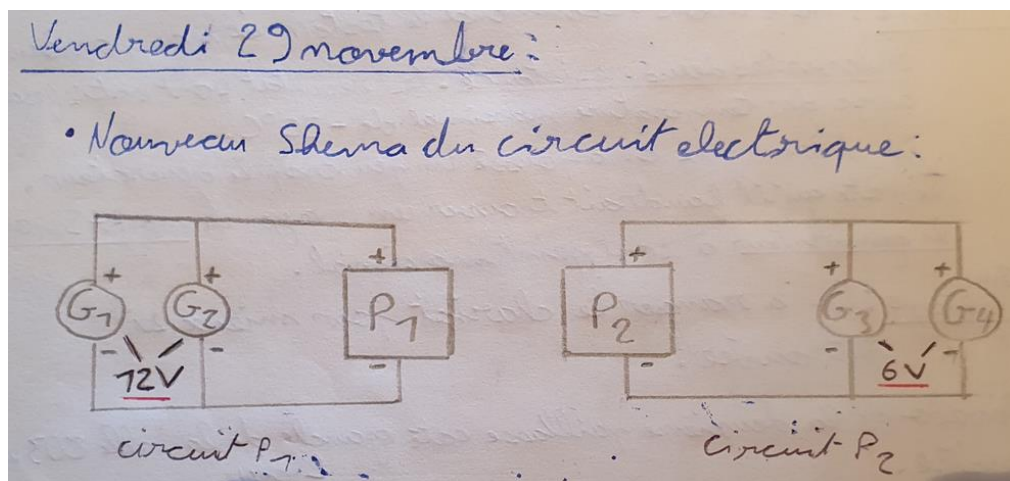
Ci-contre : atelier soudure



b. **Description et expérience**

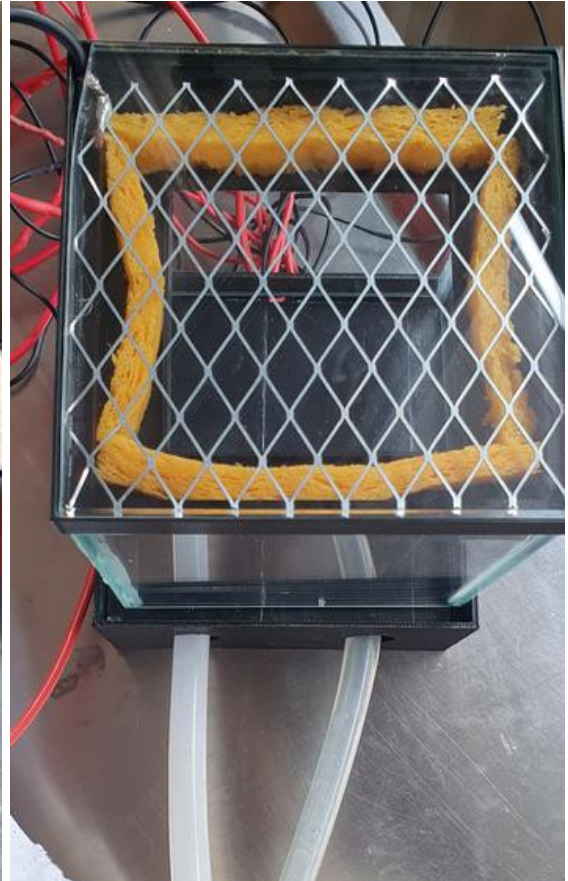
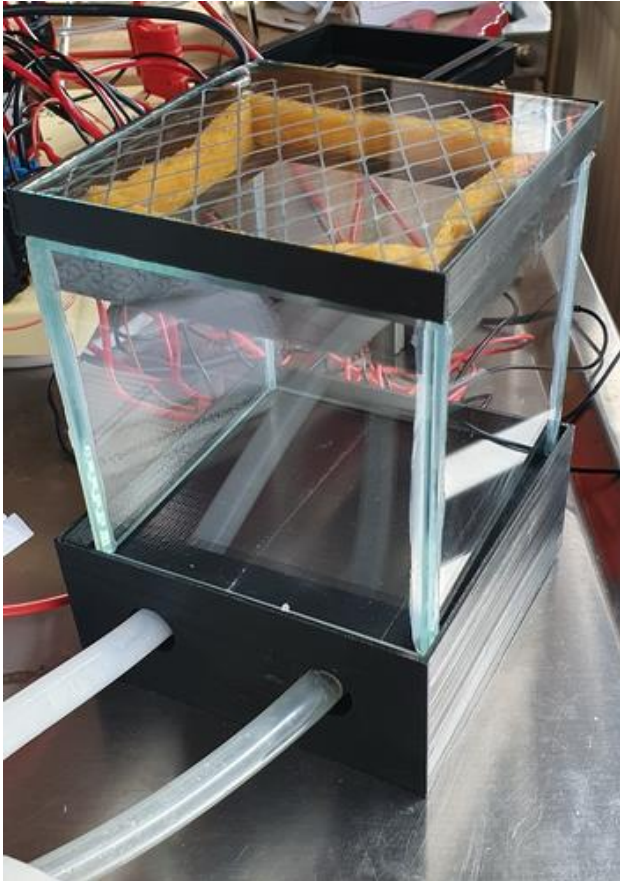
Nous avons commencé par nous questionner sur la mise en place de nos circuits électriques pour les 8 cellules pelletiers. Après quelques délibérations théoriques et des tests nous avons choisi de mettre toutes les P1 (les pelletiers les plus puissantes du dessous) ensemble en dérivation et de faire de même pour les P2.

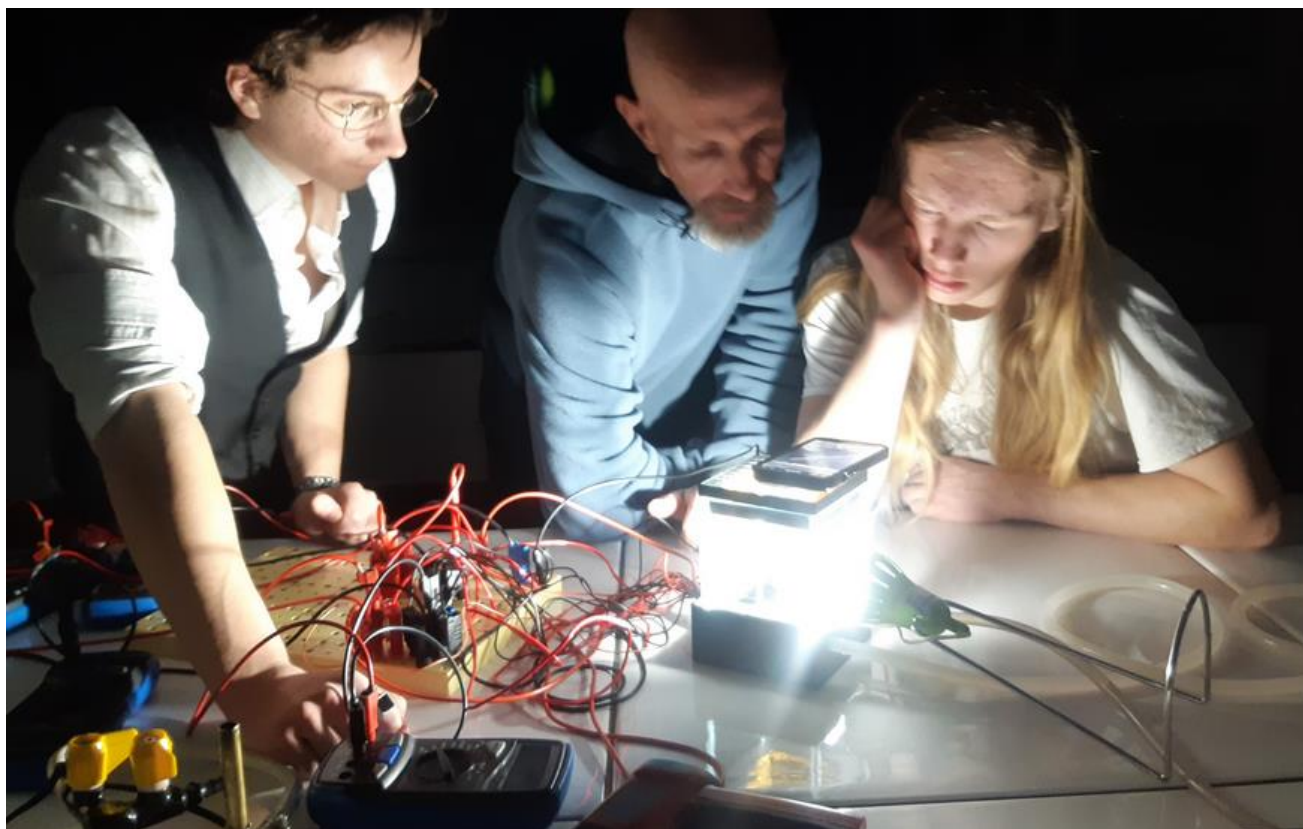
Pour éviter de faire chauffer les rhéostats permettant de moduler les tensions d'alimentation et simplifier le montage électrique, il a été décidé de simplifier le montage d'alimentation des pelletier :



Avec ce modèle nous avons réussi à avoir du brouillard et à le maintenir mais nous n'arrivions pas à observer de traces malgré le changement de sens du champ électrique et même de son retrait. Après une conversation avec Yannick Arnoud nous nous sommes rendu compte que nous avons changé d'alcool et que celui-ci formait de trop grosses gouttes dans le brouillard ce qui rendait impossible la condensation autour des particules émises lors de la désintégration et donc l'observation de celle-ci. Suite à cela nous sommes repassés à l'isopropanol comme au début du projet et nous avons pu observer beaucoup de traces.

Ci-dessous l'avant dernière version de la chambre :

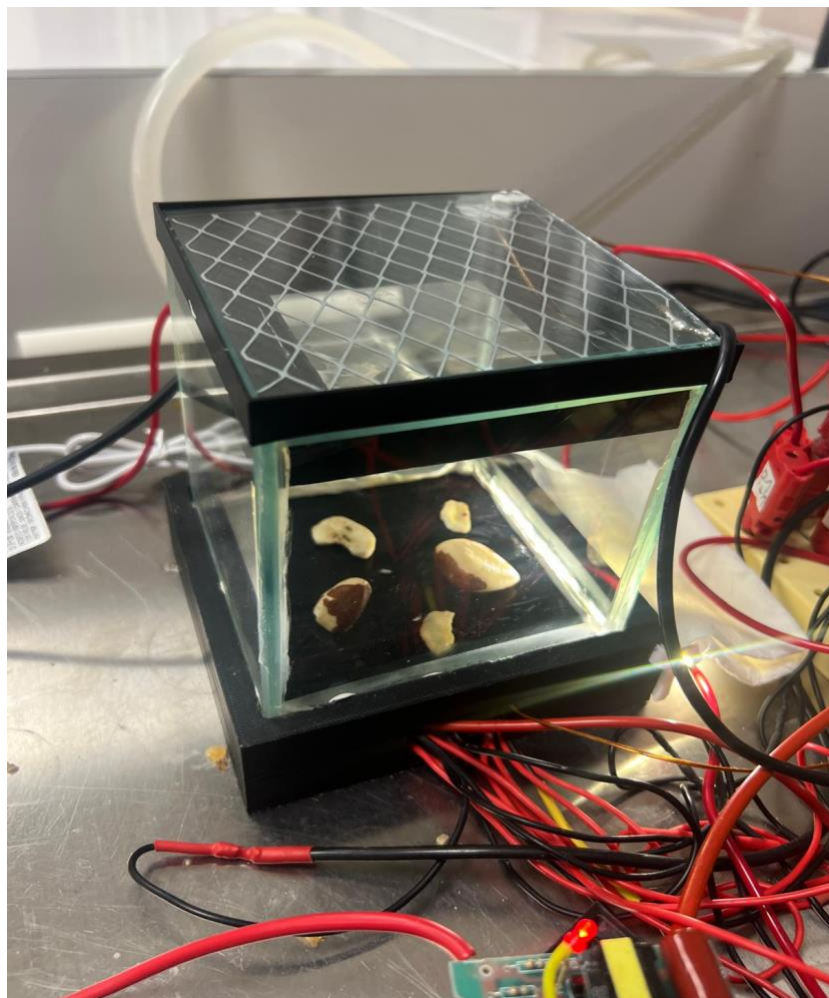




Ci-dessous quelques traces de particule alpha obtenues avec l'avant dernière version de la chambre muni du champs électrique



Ci-dessous(la version finale de la chambre) :



Dernière version de la chambre à brouillard.

En début d'année, par pur hasard (tout du moins d'une raison inexplicée), la chambre a fonctionné facilement et a marché sans thorium. Lorsqu'on avait décidé d'expérimenter avec les fruits, la chambre fonctionnait à merveille avec et sans thorium, on pouvait observer des particules à foison.

a) Thorium puis intégration des fruits :

Au début, nous intégrions les fruits juste après avoir fait fonctionner la chambre avec la barre de thorium. Cette méthode était peu efficace car elle perturbait la température idéale de la chambre (-20°C à -22°C) et mettait du temps à retrouver cette température. Malgré cela, nous pouvions observer des particules mais il était dur de distinguer radioactivité naturelle et celle se dégageant des fruits. Pour cela nous avons réaliser de nombreuses expériences pour tâcher de voir si il y avait une nette différence avec ou sans les bananes (qui étaient censées émettre des particules Bêta) et de même pour les noix.

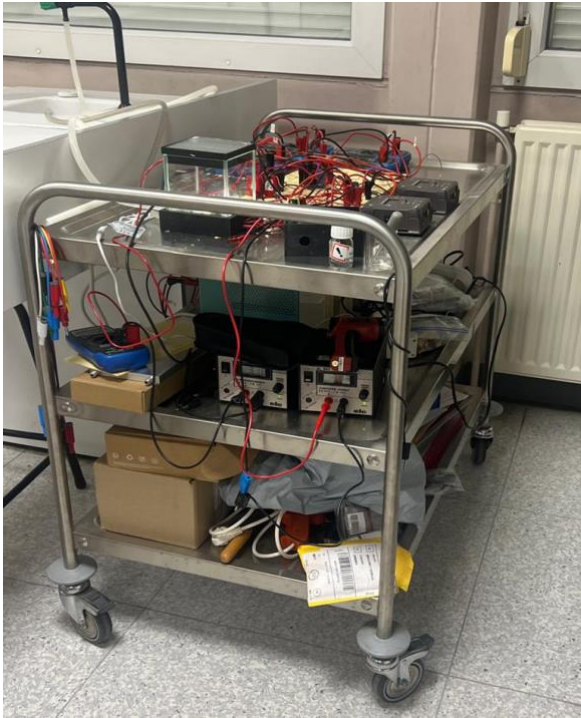
b) Départ directement avec les fruits :

En démarrant directement avec les fruits à l'intérieur, la chambre était légèrement moins efficace mais comme la vitesse à laquelle nous atteignons la température dépendait de l'humeur de la chambre, l'efficacité n'était pas prévisible.

Les particules apparaissaient toujours mais il était pratiquement impossible d'identifier celles partant des fruits à celles provenant de la radioactivité naturelle : on avait l'impression que des particules alpha partaient des bananes et des particules beta des noix du Brésil, ce qui extrêmement peu probable. Ce problème est resté avec nous jusqu'à ce jour. Depuis, nous continuons de documenter nos expériences avec cette méthode qui fait ses preuves.

Finalement bien que nous pensions tout d'abord étudier les bananes, les expériences ont été plus révélatrices avec les noix du Brésil. Avec leur composition on a pu déterminer à l'avance quelle particules devaient apparaître et on a pu essayer de différencier radioactivité naturelle et radioactivité émise par les aliments. D'autres part nous sommes en phase d'agrandissement de la chambre et avons prévu d'étudier la radioactivité d'objets du quotidien.

Ci dessous la disposition complète de la chambre à brouillard sur notre fidèle chariot :



Sources :

Article du BUP Vol 106 janvier 2002 : Comment réaliser une chambre à brouillard Bup janvier 2012

Cloudylab : <https://www.cloudylabs.fr/wp/>

Protocole d'anodisation : <http://jantzem.n.free.fr/TP%20CH%20SP/TP10-anodisation%20Al.doc>