

# CLOUD.IS.(S)C(H)OOL

*construction d'une chambre à brouillard*

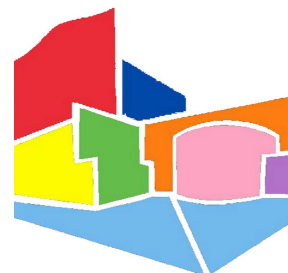
Nathan Rousseaux, Raphaël Quinchon, Guillaume Lecerf, Anouk Haesler  
Enseignants : Cédric Vanden Driessche et Antoine Manier  
Collège Lycée Expérimental - Hérouville St-Clair



*trace d'une particule alpha observée dans la chambre à brouillard*



OLYMPIADES  
DE PHYSIQUE  
FRANCE



# **Introduction**

1. Présentation et origines du projet
2. Problématique

## **1. Un petit tour du côté de la théorie**

1. Les rayons cosmiques
2. Histoire et fonctionnement de la chambre à brouillard

## **2. Mise en place de la chambre à brouillard**

1. montage de la chambre
2. mise en route et observation

## **3. Expériences annexes**

1. Mesure d'activité radioactive
2. Etude de l'efficacité de la chambre

# **Conclusion**

1. Pour résumer
2. Pour aller plus loin

# **Appendices**

1. Références et sources
2. Remerciements

# INTRODUCTION

## 1. Qui sommes nous ?

Nous sommes quatre lycéens en classe de Terminale Scientifique au Collège Lycée Expérimental d'hérouville Saint Clair. Dans le cadre d'un atelier proposée par notre lycée, nous avons décidé de participer aux Olympiades de Physique France 2019 - 2020, pour y présenter le fruit d'un an de recherches axées autour de la chambre à brouillard. Le but était de réussir à obtenir un dispositif fonctionnel et reproductible et de s'en servir afin d'étudier les rayons cosmiques et certaines particules.

## 2. Problématique

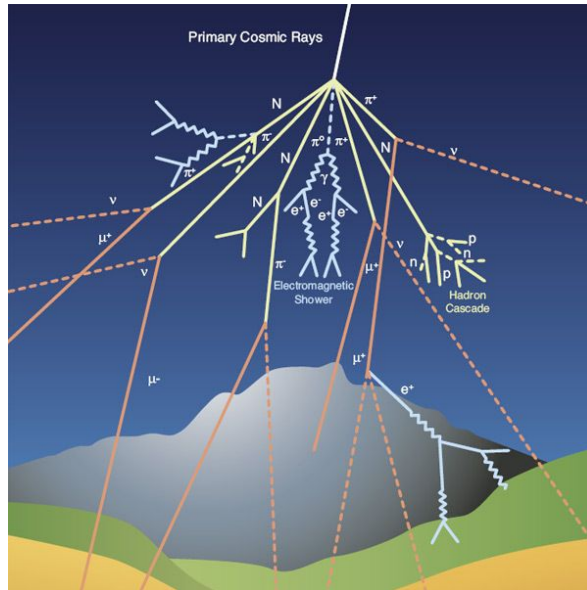
Pour ce faire, nous avons décidé de mettre en place une chambre à brouillard. Ce dossier portera donc sur la conception de la chambre à brouillard et les expériences possibles autour de ce détecteur. Des dispositifs de chambre à brouillard ont déjà été mis en place dans notre établissement, mais ils utilisaient de la carboglace, une ressource onéreuse et difficile à conserver. Nous avons donc réalisé une chambre à brouillard utilisant des cellules à effet peltier.

L'objectif final était de présenter un modèle pouvant être mis en place dans des lycées afin de pouvoir introduire les élèves à la physique moderne, le tout sans grandes contraintes matérielles pour les établissements.

# 1ERE PARTIE : UN PEU DE THÉORIE

## 1. Les rayons cosmiques

La découverte des rayons cosmiques commence en 1907, au moment où Théodore Wulf, physicien Allemand, compare l'activité radioactive mesurée dans l'air en haut de la tour Eiffel avec celle du sol grâce à un électromètre et remarque que la valeur change. C'est dû aux rayons cosmiques. Victor Hess découvre ensuite en 1912 que le rayonnement électromagnétique augmente quand on s'éloigne du sol. Il obtient le prix Nobel 1936 avec Carl Anderson, qui découvrit le positron et le muon grâce à la chambre à brouillard de Wilson (nous y reviendrons plus tard).



Mais au fait, que sont les rayons cosmiques ? Les rayons cosmiques sont des flots de particules provenant de l'espace. Ces particules, lorsqu'elles entrent dans l'atmosphère, produisent des particules dites "secondaires" en formant des "branches" ou gerbes de particules (voir schéma ci dessus). Certains de ces rayons proviennent même d'en dehors de notre galaxie. Parmi ces rayons, nous retrouvons trois types de particules, toutes stables; des protons à 87%, des noyaux atomiques à 12% et des électrons à seulement 1%. La provenance des rayons cosmiques peut être connue en mesurant leur énergie. Une particule provenant du soleil suite à une éruption solaire, produira entre 10 et 100 MeV. Une particule provenant de l'explosion d'une supernovae et de l'accélération d'un champ magnétique produira entre 100 MeV et 10 GeV. Une particule provenant de quasars, d'AGN (Active Galactic Nucleus) ou de noyaux cosmiques lumineux produira environ  $10^{11}$  GeV. La majorité des rayons inférieurs à  $10^9$  GeV proviennent de notre galaxie. Il faut savoir que les vents solaires nous protègent des rayons cosmiques forts grâce au champ magnétique terrestre. Les rayons dits primaires interagissent avec les molécules d'air en entrant dans l'atmosphère. Voici les différents types de rayons cosmiques et leurs interactions :

- D'une part, au sein des rayons cosmiques, il y a les nucléons et les noyaux. Les deux types de particules produisent des mésons par interaction forte. Si leur énergie est assez forte, ils produisent encore d'autres mésons. Sinon, les particules stabilisées se désintègrent ( $t \approx 10^{-16}$ s) en deux photons (partie électromagnétique). Les plus chargés ( $t \approx 2,6 \times 10^{-8}$ s) produisent des muons et des neutrinos, les muons sont des particules détectables au sol.
- D'autre part, il y a les électrons et les photons. La partie électromagnétique du rayonnement cosmique en est composée. Ils proviennent du rayonnement primaire ou de la désintégration des particules. Tout d'abord, les électrons perdent de l'énergie à leur entrée dans l'atmosphère, c'est l'interaction nommée rayonnement de freinage (passage d'une particule dans le champ

coulombien d'un atome, l'accélération forme un rayonnement électromagnétique en produisant un photon - donc en perdant de l'énergie). Les photons créent des électron-positrons qui perdent aussi leur énergie de la même façon que les électrons.

Au sol, car les particules sont absorbées et ont des durées de vie très courtes, il ne reste pratiquement plus que des muons ( $\frac{3}{4}$ ). Ceux-ci perdent environ 2 GeV avant d'atteindre le sol. Le flux de particules est d'un muon par centimètre carré par minute. Chaque particule réagit différemment avec la matière :

Les neutrinos interagissent faiblement avec la matière. Les probabilités d'interaction s'élèvent à une chance sur un milliard. Pour détecter les neutrinos il faut un grand volume de détecteurs (les neutrinos sont détectés dans des observatoires à neutrinos. Ces détecteurs nécessitent jusqu'à 50 000 litres d'eau pour détecter la collision entre un neutrino et une molécule d'eau) et observer l'énergie manquante lors d'une collision par conservation de l'impulsion.

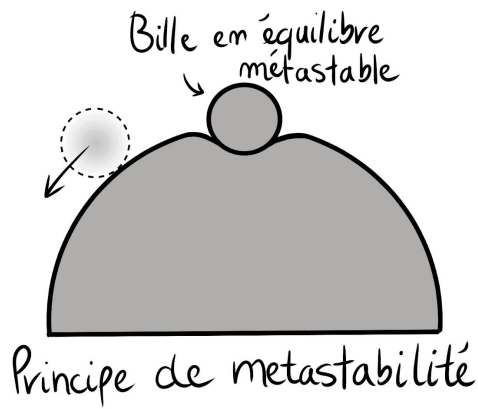
Les muons (particules chargées) interagissent surtout de manière électromagnétique. Nous avons travaillé plus particulièrement sur une méthode pour détecter les muons :

- La perte d'énergie par ionisation, la perte d'énergie selon la distance est donnée selon la formule de Bethe Bloch que nous étudierons plus tard. Sur la courbe spécifique reliée à la formule de Bethe Bloch, on peut observer l'allure de cette perte d'énergie. Au début, la courbe diminue très vite, cela représente le fait que plus la particule est rapide moins le processus d'ionisation a le temps d'avoir lieu, lorsque la courbe remonte, cela représente des effets relativistes qui augmentent la probabilité d'interaction, de plus la vitesse étant moins forte, l'ionisation est plus grande. Chaque particule a un comportement différent, ce qui permet leur identification.

Le troisième, le rayonnement de freinage à haute énergie est dû au passage d'un muon près du champ coulombien d'un atome. L'accélération du muon est modifiée et produit un rayonnement électromagnétique (photon produit) et une perte d'énergie. Ce ne sont que les muons les plus énergétiques qui interagissent de cette manière.

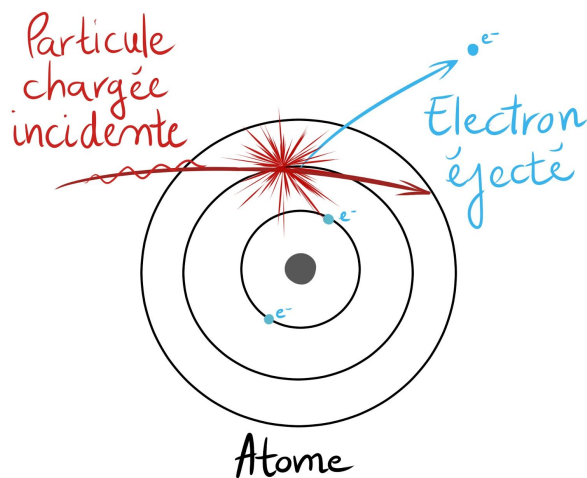
## 2. Particules et chambre à brouillard

Les rayons cosmiques peuvent être observés directement grâce à une chambre à brouillard. Il s'agit d'un dispositif permettant d'observer la trajectoire de particules chargées au travers d'une vapeur sursaturée dans un état métastable, dans une enceinte fermée. "Métastable" caractérise un état de la matière en apparence stable mais qui peut évoluer sous l'effet d'une perturbation vers un état plus stable.



Ici, la balle, en équilibre précaire sur le dôme, peut, sous l'effet d'une perturbation, tomber et aller se stabiliser au sol. Par analogie et pour en revenir à la chambre à brouillard, on peut considérer l'état gazeux de la matière comme la balle en équilibre. Et l'événement la faisant chuter, le passage d'une particule chargée, vers un autre état, l'état liquide. Cette particule, en passant à travers la chambre, interagit électriquement avec le gaz présent en le ionisant, ce qui le fait passer à l'état liquide. C'est pourquoi on parle de particule chargée quand on liste les particules observables par une chambre à brouillard. En effet, des particules neutres, comme le neutron, ne seront observables qu'au travers des particules chargées créées lors de leur interaction avec la matière, soit indirectement.

Lors du processus d'ionisation, une particule chargée percute un atome. lors du choc, cette particule arrache un des électrons de la couche électronique supérieure.



ionisation d'un atome au passage d'une particule

On peut identifier la particule observée grâce à sa traînée. Ainsi, une particule  $\alpha$ , considérée comme lourde ( la masse du noyau d'Hélium 4 est de  $6,6952 \times 10^{-27}$  kg, alors que celle d'un électron, par exemple, est de  $9,109 \times 10^{-31}$  kg ) laissera une traînée plus épaisse qu'un électron, de masse et circonférence plus petite. L'aspect de la trace peut être déterminé grâce à l'équation de Bethe, qui peut être définie comme un rapport

de la charge de la particule sur sa vitesse. Ainsi, à vitesse égale, une particule  $\alpha$ , chargée  $2+$ , créera deux fois plus d'ions dans la matière qu'un électron, chargé  $1-$ . Si l'on fait entrer en jeu la vitesse respective des deux particules, la différence est alors encore plus importante. Un électron de vitesse  $v=300\,000\text{ km/s}$  est beaucoup plus rapide qu'une particule  $\alpha$ , avec  $v=15\,000\text{ km/s}$ . Il en résulte une traînée beaucoup plus épaisse pour la particule plus lente, qui a le temps de former plus d'ions lors de son passage dans la chambre.

Il est possible d'observer un certain nombre de particules grâce à une chambre à brouillard. Au niveau de la mer, on peut étudier des particules comme l'électron, le noyau d'hélium 4 ou plus ponctuellement le muon. En effet, les muons ne créent que très peu d'ions dans la matière ( même s'ils composent 75% du rayonnement cosmique au niveau de la mer ). cela est dû à un principe d'origine quantique : la perte d'énergie par rayonnement continu de freinage ( ou *bremsstrahlung* en allemand, originellement ). Lorsqu'une cible est percutée par un faisceau de particules chargées, comme dans le cas des rayons cosmiques, ces dernières sont freinées et déviées par le noyau atomique de la cible. Comme le veulent les équations de Maxwell, une charge dont la vitesse varie rayonne, et ce rayonnement est énergétique. Or, les pertes d'énergie par rayonnement continu de freinage sont inversement proportionnelles au carré de la masse et de la vitesse de la particule. Un muon étant 207 fois plus lourd qu'un électron et ayant une vitesse relativiste, il sera d'autant plus difficile d'observer son tracé dans la chambre à brouillard, moins fréquent.

Au dessus du niveau de la mer, il est possible d'observer d'autres particules, plus lourdes, qui n'ont pas encore eu le temps de se désintégrer. Ce sont des particules composites comme les baryons lambda et xi.

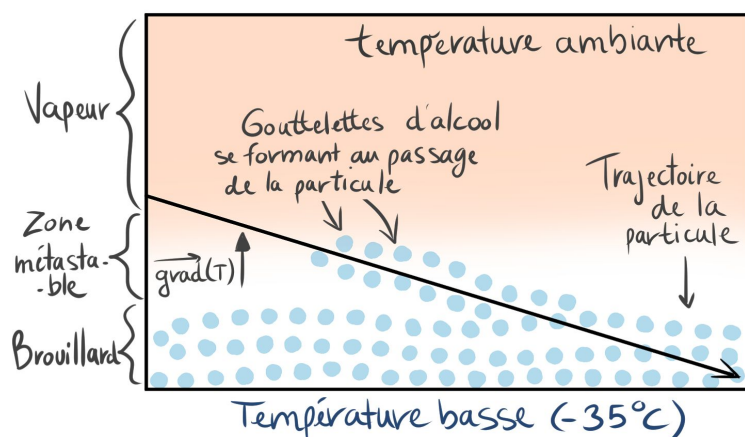
Pour en revenir à la chambre à brouillard, il existe deux manières ( en réalité, il en existe bien plus mais les deux procédés que nous allons aborder sont les deux procédés les plus anciens et les plus connus. Les autres méthodes, plus récentes sont toutes dérivées de ces deux prototypes de chambre à brouillard. ) d'obtenir une vapeur métastable :

- Le premier modèle est celui originalement inventé par le physicien écossais Charles Wilson. Dès 1893, il travaille dans un laboratoire de météorologie sur le brouillard ainsi que sur sa formation, et tente de reproduire les conditions nécessaires à sa formation dans une petite enceinte fermée. En dépressurant l'air contenu dans une petite enceinte fermée, Wilson observe la formation d'un brouillard issu de la condensation de l'eau contenue dans l'air, accompagné d'un refroidissement de la température de la chambre. La pression est l'un des facteurs (avec la température) agissant sur l'état de la matière. En dépressurant l'air contenu dans l'enceinte, il le fait passer de l'état gazeux à l'état liquide. Dans un premier temps, cette observation

lui permet de réfuter la théorie de John Aitken, qui déclare que la formation d'un brouillard est impossible sans la présence d'une certaine quantité d'impuretés dans l'air, comme des poussières. Si Wilson a réussi à créer un brouillard artificiel, c'est parce que la dépressurisation de la chambre, qui a entraîné un refroidissement de l'air, a permis à l'eau présente dans l'air d'atteindre un état métastable. Les ions libres ( découverts en 1890 ) présents dans la chambre interagissent électriquement avec les molécules d'H<sub>2</sub>O, faisant passer l'eau de l'état gazeux à l'état liquide. La multitude de ces ions entraîne une condensation de l'eau, qui permet d'obtenir un brouillard artificiel. Au cours de différentes manipulations, Wilson introduit dans la chambre de l'éthanol puis un échantillon de radium. il observe alors plusieurs tracés émis depuis la source radioactive, résultat de la condensation de la vapeur d'alcool au passage de particules émises par le radium.

Grâce à son modèle de chambre à brouillard dit "à expansion" ou "chambre de Wilson", le physicien a reçu le prix nobel de physique de 1927.

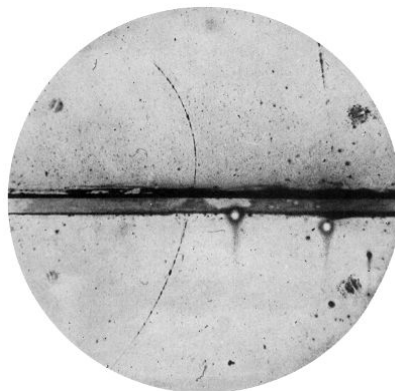
- En 1939, le physicien Langsdorff modernise le dispositif de Charles Wilson, en fabriquant une chambre à brouillard "à diffusion" ou "chambre de Langsdorff". Elle permet d'observer les même traces de condensation au passage d'une particule chargée, mais de manière continue. En effet, la chambre de Wilson nécessitait une dépressurisation de l'enceinte, qui durait un bref instant. Langsdorff utilise une plaque métallique constamment refroidie pour obtenir un écart de température important entre le haut et le bas de la chambre. L'éthanol contenu dans le haut de la chambre est porté assez chaud pour s'évaporer, et devient gazeux. La vapeur tombe vers le bas de la chambre, vers la zone froide, et se condense pour former des micros gouttelettes d'éthanol. Au dessus de ce brouillard nouvellement formé on observe une zone dite métastable : l'éthanol se trouve encore à l'état gazeux mais dans des conditions de température étant celles de son état liquide. Ainsi, comme nous l'avons dit plus tôt, la moindre perturbation entraîne son passage à l'état liquide.



Dès son invention en 1911, la chambre à brouillard a permis de nombreuses études, et a été déterminante pour la physique moderne. Dans un premier temps, on s'en sert pour étudier la radioactivité naturelle. La radioactivité  $\alpha$  et  $\beta$  sont en effet des



phénomènes nouveaux à cette époque : la radioactivité  $\beta$  est découverte en 1896 par Henri Becquerel et la radioactivité  $\alpha$  en 1898 par Ernest Rutherford. En introduisant des échantillons de roches radioactives ils peuvent observer des particules  $\alpha$  et des électrons, qui sont des produits des deux types de réactions nucléaires. Plus tard, en 1928, Paul Dirac formule l'équation de Dirac, qui décrit le comportement de l'électron. Il découvre cependant une seconde solution à son équation. Cette solution implique une particule de masse égale à celle de l'électron, mais de charge opposée. Dirac formule alors l'existence potentielle du positron, une antiparticule allant de paire avec l'électron. Quatre ans plus tard, en 1932, Charles David Anderson parvient à prouver l'existence du positron en menant des expériences sur les rayons cosmiques dans une chambre à brouillard à expansion.



*Photo d'un positron observé dans la chambre à brouillard par Anderson en 1932*

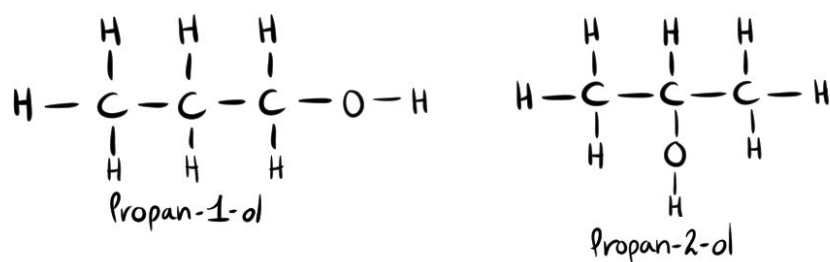
## PARTIE 2 : MISE EN PLACE DE LA CHAMBRE

### 1. Montage de la chambre

Dans un premier temps, il nous a fallu déterminer quel type de chambre il nous fallait mettre en place. Au vu des différentes contraintes, nous avons choisi de travailler sur un modèle de chambre à diffusion. Cela permettait une durée d'observation plus importante, et avait des contraintes techniques moindre. En effet, la chambre de Wilson nécessite une enceinte totalement hermétique et une certaine minutie au niveau de sa conception, et était donc plus difficile à fabriquer avec les moyens en notre disposition (matériel de laboratoire scolaire et outillage basique). Ce modèle ne permettait pas non plus de répondre à notre problématique, c'est à dire proposer un prototype simple, efficace, et pouvant être utilisé en classe.

La chambre de Langsdorff donc, nécessite un grand écart de température entre le haut et le bas de la chambre, afin de pouvoir vaporiser l'alcool présent dans la

chambre, puis obtenir un état propice à sa liquéfaction, pour obtenir un brouillard métastable. L'alcool isopropylique, ou propan-2-ol (plus connu encore sous le nom de isopropanol) que nous avons utilisé a un point d'ébullition de 82.5°C, c'est à dire que dans des conditions de température et de pression ambiante, il passera à l'état gazeux si il est porté à 82.5°C (et inversement pour passer à l'état liquide, c'est son point de liquéfaction). De plus, sa structure chimique lui permet de former des gouttelettes de taille plus petite, grâce à l'emplacement de son groupe hydroxyle : le groupe O-H qui effectue les liaisons par interaction Van Der Waals est "caché" par les atomes d'hydrogène environnants, il est moins accessible. Ce phénomène se nomme encombrement stérique. Cela permet, lors du processus d'ionisation du gaz, d'observer plus nettement le tracé d'une particule. Les gouttelettes vont se distinguer des autres par interaction coulombienne, car elles sont chargées différemment, en se repoussant mutuellement.



On distingue l'alcool isopropylique sous plusieurs formes :

- à l'état liquide, imbibé sur une feutrine. Il est porté à une température d'environ 90°C par un récipient d'eau au dessus de l'enceinte.
- à l'état gazeux, sous forme de brouillard, présent dans le bas de la chambre (3\*), et sous forme de gouttelettes formant la zone métastable.
- à l'état liquide encore, au passage d'une particule.

Pour réaliser le montage de notre chambre, nous avons eu besoin de plusieurs composants, dont nous allons maintenant voir les différentes caractéristiques. Tous ces composants ont un usage précis que nous allons justifier.

- **Une enceinte transparente** : Cette enceinte va permettre de contenir le brouillard dans un petit espace d'observation. On peut donc par exemple choisir une boîte en verre ou en plastique transparent. Ici, nous avons utilisé un cube en plexiglas de dimensions 10x10x10 cm. Il est nécessaire d'avoir une enceinte dont les dimensions sont adéquates au reste des composants. Ainsi, le brouillard métastable sera contenu dans une zone où il pourra être assez dense, sans que cette zone soit trop petite pour l'observation de traces.

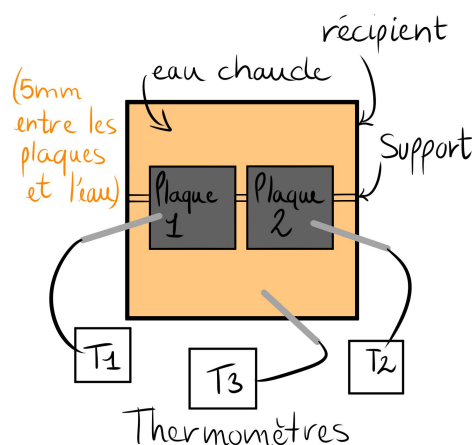
- **Une feutrine** : La feutrine est imbibée d'alcool isopropylique est placée en suspension en haut de l'enceinte.

- **Une source de chaleur** : Placée en contact avec la feutrine, elle va permettre l'évaporation de l'alcool isopropylique. Nous avons simplement posé un récipient d'eau chaude au dessus du cube en plexiglas.

- **Une plaque thermoconductrice** : Elle va servir à dissiper la température du réfrigérant à l'intérieur de l'enceinte, pour permettre la condensation des gouttelettes d'alcool. Il faut faire attention à sa couleur pour éviter d'éventuels reflets. Nous avons choisi d'utiliser une plaque en aluminium, après avoir effectué des tests de transmission thermique parmi plusieurs plaques à notre disposition.

L'expérience consistait à étudier l'évolution de la température à la surface de la plaque en la mettant en contact avec de l'eau portée à 70°C. On étudie la transmission thermique au travers de différentes plaques. La transmission thermique est le rapport entre la température de l'eau et celle de la plaque. Au terme de cette expérience nous avons choisi la plaque P1 : même si son coefficient de transmission est plus faible, elle a une meilleure surface de contact. En effet l'aspect granuleux de la plaque P2 semble déstabiliser la formation du brouillard.

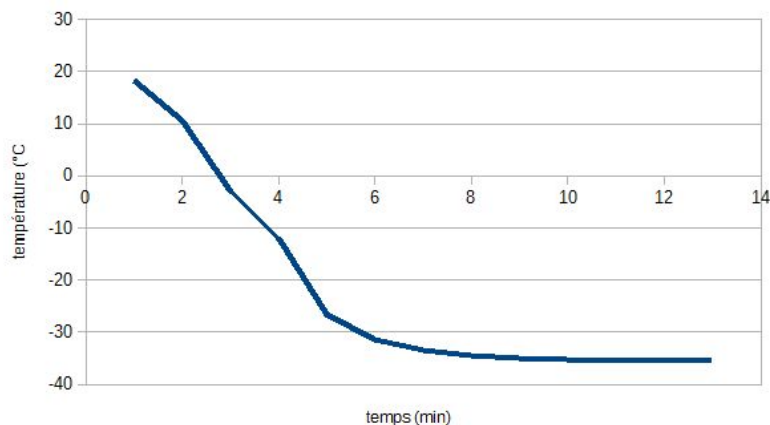
Plaque	épaisseur	Inconvénient	Transmission thermique
P1 (plaque d'aluminium découpée)	1,7 mm	plus lourde, présente un impact, aspect brillant	49%
P2 (issue d'un boîtier d'ordinateur)	1,8 mm	aspect granuleux	64%



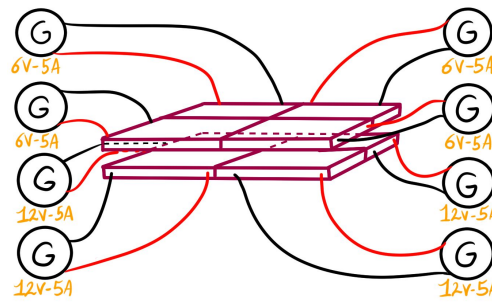
- **Un réfrigérant** : Le réfrigérant est le composant majeur de la chambre à brouillard. C'est celui qui permet la condensation de la vapeur et l'obtention d'un brouillard métastable. Il est possible d'utiliser différents réfrigérants, comme de l'azote liquide ou de la carboglace. Cependant, ces matières sont coûteuses et difficiles à se procurer. De plus, il est difficile de les conserver longtemps dans un laboratoire (nous

avons à notre disposition un congélateur) et ne permettent pas une longue durée d'observation car elles se subliment (pour la carboglace) ou s'évaporent (pour l'azote liquide) trop rapidement à l'air libre. Notre choix s'est donc porté sur les modules peltiers.

Un module peltier est un composant utilisant l'effet peltier pour créer un refroidissement thermoélectrique. Le module, alimenté par un courant électrique, présente deux "faces", une froide et une chaude. Elles sont en contact à l'intérieur du module via un enfillement de bandes métalliques en serpentín permettant une répartition maximale de la chaleur transmise entre les deux faces. C'est par cette bande métallique que passe le flux d'électrons du courant électrique. La chaleur prélevée sur la face froide est transmise grâce à ces électrons, qui jouent le rôle de caloporteur, vers la face chaude. Ce type de réfrigérant est donc efficace car il est peu encombrant, relativement abordable et autonome. Nous avons effectué une expérience consistant à mesurer la température de l'air dans la chambre au cours du temps en le refroidissant avec des modules peltier. On atteint la température de  $-35^{\circ}\text{C}$  en 5 min environ, ce qui est idéal pour l'obtention d'un état métastable.

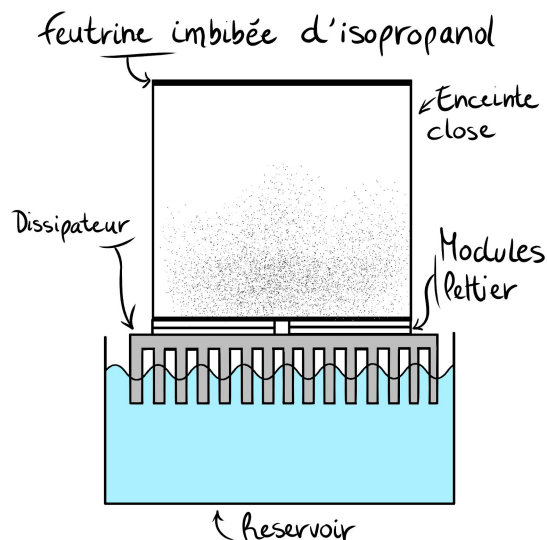


Nous avons à notre disposition deux modèles de modules peltier, nommés TEC-12706 (alimentés en 6V et 5A) et TEC-12710 (alimentés en 12V et 5A). Nous avons disposé 4 modules du modèle 1, réparties uniformément sur la plaque en aluminium. Ces modules vont servir à refroidir la plaque elle-même. Nous disposons ensuite en dessous 4 modules du modèle 2, leur face froide contre celle chaude du modèle 1. Ces modules vont servir à évacuer la chaleur du modèle 1 (on rappelle que le gradient de température entre deux faces peut atteindre  $75^{\circ}\text{C}$ . Si la chaleur produite n'est pas évacuée alors l'ensemble du système peut très vite monter en température). En superposant deux "couches" de modules, on augmente leur efficacité. Cependant il faut toujours évacuer la chaleur produite par le modèle 2, sans augmentation de température supplémentaire. On obtient le circuit électrique suivant :



- **Un dissipateur** : Un dissipateur thermique est un composant permettant de dissiper la chaleur produite par un composant thermoélectrique par exemple. Il est composé d'une surface sur laquelle on vient poser le composant à refroidir, et d'ailettes permettant de dissiper la chaleur absorbée par le dissipateur. Ces ailettes maximisent la surface de contact entre le dissipateur et le milieu ambiant afin de mieux évacuer la chaleur.

On va adjoindre un dissipateur au montage décrit plus haut afin de dissiper la chaleur des modules de modèle 2. Pour diffuser cette chaleur, il est possible de mettre les ailettes du dissipateur en contact avec plusieurs milieux. Nous avons choisi de le plonger dans l'eau, qui possède un meilleur coefficient caloporteur que l'air. Ce coefficient fait intervenir la capacité thermique massique du caloporteur, or celle de l'eau est 4 fois plus importante que celle de l'air. L'eau que nous avons utilisée provient simplement d'un robinet et possède une température de 24°C environ. En additionnant les actions des modules peltier et du dissipateur, on obtient le montage suivant :



Le problème avec ce montage est que l'eau du réservoir ne peut pas évacuer toute la chaleur transmise par le dissipateur. Nous avons dans un premier temps construit un circuit ouvert : l'eau est injectée dans le réservoir par des tuyaux puis est évacuée. Cependant cela nous fait utiliser une grande quantité d'eau, car nous avons un débit d'eau de 6 L/min environ.

Pour pallier à cette observation nous avons choisi d'adjoindre un second système de refroidissement fermé, qui servira à maintenir l'eau à une température constante, celle d'environ 24°C (température de sortie du robinet).

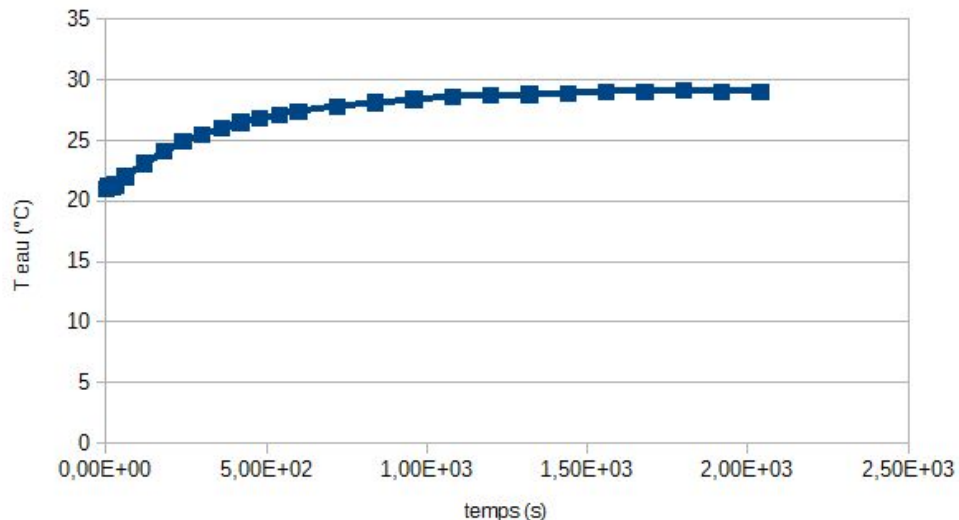
- **une pompe** : Elle permet de faire circuler l'eau dans un circuit, pour éviter la stagnation et le réchauffement de cette dernière dans un circuit fermé. Cette pompe est reliée à d'autres composants qui vont refroidir l'eau du réservoir. L'utilité d'un circuit fermé dans lequel de l'eau circule pour refroidir le système permet en premier lieu de simplifier la mise en place de la chambre à brouillard mais aussi par logique de praticité de pouvoir déplacer la chambre sans avoir besoins d'un robinet et d'un évier pour avoir une entrée et une sortie d'eau ce qui faisait également perdre du temps pour la mise en place du dispositif. Cependant cela nous permet également l'évacuation de la chaleur. L'eau étant en permanence renouvelée dans le réservoir de refroidissement, elle n'a pas le temps de stocker la chaleur produite par les modules Peltier transmise par conduction dans le dissipateur immergé dans l'eau et qui transmet à cette dernière sa chaleur par convection. C'est l'eau sous pression et donc en mouvement qui permet ce phénomène de convection et qui par conséquent nous permet d'obtenir un refroidissement de meilleur qualité. Le refroidissement dit "passif" ou par convection étant bien moins efficace dans notre cas. Seul l'échange entre les modules Peltier et le dissipateur se fait par conduction car ne bougeant pas sur le dissipateur.

- **un radiateur pour système de refroidissement liquide** : Ce radiateur fonctionne à peu près comme un dissipateur. L'eau injectée par la pompe traverse un tuyau en contact avec de nombreuses ailettes, elles même en contact avec l'air. L'eau est refroidie par convection thermique, puis réinjectée dans le réservoir. Au même titre que pour le dissipateur, l'environnement des ailettes du radiateur doit être le plus froid possible. De plus, au passage de l'eau, le radiateur chauffe car réceptionne la chaleur de l'eau. Un dernier composant vient donc refroidir l'air en contact avec les ailettes.

- **un ventilateur** : Le ventilateur est la dernière pièce du système de refroidissement. Son but est simplement de souffler de l'air autour des ailettes, pour que la surface en contact garde une température basse stable. On pourrait alors penser qu'il aurait suffi d'utiliser directement un ventilateur sur le dissipateur. Cependant, il est plus intéressant d'utiliser un système de refroidissement liquide. Un ventilateur est moins efficace qu'un qu'un refroidissement liquide. Cela s'explique par la différence entre la capacité massique thermique de l'eau et de l'air. La capacité massique thermique définit la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique. L'air a une capacité massique thermique de 1004 J/Kg.K (Joules par kilogramme kelvin) contrairement à celle de l'eau qui est de 4185 J/Kg.K soit environ 3 à 4 fois plus élevé que l'air, ce qui justifie notre choix.

L'ajout de ces composants permet de rendre la chambre plus autonome ; elle n'a plus besoin d'être raccordée à une arrivée d'eau, par simple souci de praticité. On évite aussi des pertes d'eau, qui s'élèvent jusqu'à 360 L/h.

On observe tout de même un réchauffement progressif de l'eau. On a pu supposer que ce réchauffement est dû à la quantité insuffisante d'eau dans le circuit. On voit sur le graphique suivant une augmentation progressive de l'eau quand la chambre est en fonctionnement. Elle se stabilise à une température d'équilibre de 29,1°C.



## 2. Démarrage et observations

Maintenant que nous avons tous les composants et que nous savons quelles contraintes ils nécessitent, nous pouvons mettre en route la chambre. Il est nécessaire de suivre un certain ordre afin d'optimiser les conditions de formation du brouillard.

1/ Dans premier temps, il faut vérifier tout les branchements. Vérifier que chaque module Peltier est correctement alimenté selon son ampérage et son voltage nominal et donc vérifier que les alimentations fonctionnent correctement. On vérifie aussi les raccordements du circuit de refroidissement pour vérifier qu'il n'y ai pas de fuites.

2/ On applique une pâte thermoconductrice sur, entre et en dessous des modules peltier pour favoriser les échanges de température. Attention à ne pas en mettre trop, cette pâte peut agir comme isolant en grande quantité.

3/ On imbibe d'alcool isopropylique la feutrine disposée au sommet de l'enceinte d'observation, On fait bien-sûr attention à ce qu'il n'y en ait pas trop pour éviter que le surplus ne coule sur les parois de l'enceinte. On peut aussi se servir de l'alcool pour nettoyer les parois et enlever d'éventuelles poussières.

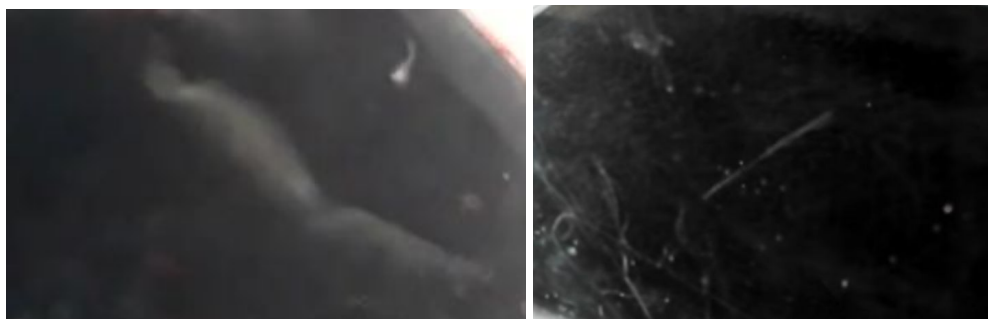
4/ Si tout est prêt, on remplit le réservoir d'eau, on dispose l'enceinte prête sur sa plaque et on démarre en premier le système de refroidissement. On peut le laisser tourner seul 5 à 10 minutes.

5/ On démarre les alimentations associées aux modules Peltier étant les plus basses, en contact avec le dissipateur thermique. On attend quelques secondes puis on allume les autres modules, ceux en contact avec la plaque en aluminium.

6/ Il faut maintenant attendre quelques minutes le temps de la formation d'un brouillard assez conséquent pour permettre l'observation des fameuses traces. Nous avons personnellement réussi à obtenir les premières traces au bout d'une minute de fonctionnement. Voici des clichés de certaines de nos observations :



*deux particules alpha émises par une source radioactive de Thorium 232*



*muons ou électrons provenant des rayons cosmiques*

Comme nous l'avons dit plus tôt, il est possible de différencier les particules observées en fonction de leurs traces. Chaque particule possède son propre tracé caractéristique. Voici un tableau résumant ces caractéristiques pour les particules observables à notre altitude :

muon, électron et positron (basse énergie)	longue trace fine, courbée. vitesse de propagation rapide
muon, électron et positron (haute énergie)	longue trace très fine et droite. vitesse de propagation rapide
particule alpha	trace dense et épaisse. propagation lente



## PARTIE 3 : EXPÉRIENCES ANNEXES

### 1. introduction d'un échantillon radioactif

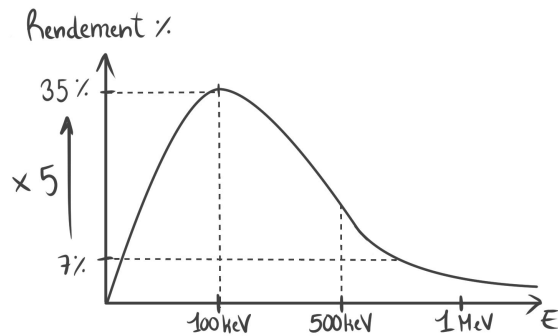
On peut introduire dans la chambre à brouillard un échantillon radioactif afin d'observer son activité radioactive. Dans notre cas, nous avons utilisé un échantillon de thorite, une roche contenant du Thorium 232, un isotope du Thorium qui émet des noyaux d'Hélium 4 par désintégration radioactive alpha. La manipulation de cet élément radioactif nous a amené à nous demander quelles étaient les mesures de sécurité à prendre. Afin de préciser nos connaissances vis à vis de ce que nous manipulons (à savoir, la thorite), nous nous sommes rendus au G.A.N.I.L (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds), à Caen, pour discuter de radioprotection et de mesure d'activité radioactive avec différents chercheurs et des employés de cette structure, Jean Charles THOMAS et Thierry CLERC. Nous nous sommes tout d'abord renseignés sur les mesures de sécurité relatives à la manipulation de notre échantillon. Tout d'abord, nous avons mesuré l'activité de l'échantillon grâce à un ictomètre. Cet appareil de mesure des rayonnements ionisants est un scintillateur, il émet un photon suite à l'absorption d'un rayon ionisant, créant un courant électrique. Il donne donc des résultats en coups par seconde. L'exemple le plus connu d'ictomètre est le compteur Geiger-Muller. L'expert en radioprotection a successivement mesuré l'activité radioactive dans les trois types rayonnements. pour cela, il effectue une mesure du bruit dans l'air puis approche le détecteur de la source.

-----	bruit	activité
gamma	25 coups/s	150 à 200 coups/s
beta	1 à 5 coups/s	150 coups/s
alpha	0	6 coups/s

Ces résultats montrent que la prise de mesures de sécurité quant à la manipulation de l'échantillon est nécessaire. L'expert nous a appris que la principale source de dangerosité réside dans la friabilité de l'échantillon. Des poussières radioactives peuvent être déposées dans les muqueuses ou sur la peau au cours de la manipulation. On parle de contamination. En cas d'ingestion, les rayonnements peuvent endommager des cellules ou des séquences d'ADN, causant des lésions parfois irréversibles. La quantité de rayonnements absorbée par un tissu se mesure en Gray (en J/kg), et se nomme débit de dose. L'unité servant à évaluer l'impact des rayonnements sur l'homme est le sievert, et se détermine à partir du facteur de la valeur en Gray et d'un coefficient (défini par les normes internationales). En résumé, il est recommandé de porter des gants, éventuellement un masque et de manipuler l'échantillon avec une pince.

Cependant, l'ictomètre ne permettait pas de mesurer l'activité de notre échantillon. En effet, ce type de détecteur est principalement utilisé pour les rayonnements de basse intensité (lors de mesures de prévention et de sécurité). Le rendement (le % de

particules détectées) varie fortement avec l'énergie des particules, comme sur la courbe suivante.



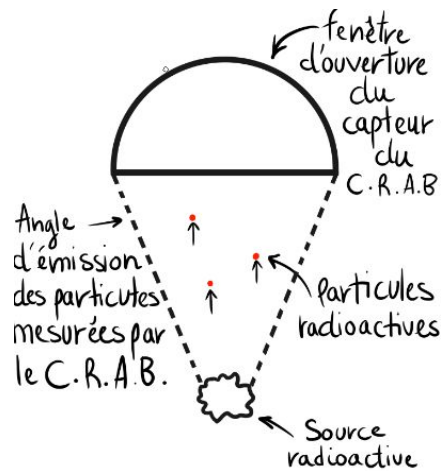
De plus, une particule alpha ne peut traverser que très peu de matière, du fait de sa taille (elle interagit beaucoup avec la matière). L'ictomètre ne peut donc mesurer que le rayonnement émis par les atomes en surface. Cela signifie que l'activité mesurée avec un ictomètre dépend de l'air de la surface de l'échantillon. La mesure est donc imprécise. C'est pourquoi nous avons laissé notre échantillon au G.A.N.I.L, afin de permettre son étude via un détecteur plus précis (dans le cas présent un détecteur au silicium) Au moment où nous écrivons ce mémoire, l'échantillon se trouve toujours dans le détecteur. En effet, du fait de sa faible intensité, plusieurs jours de mesures sont nécessaires. Cependant, nous avons reçu certains résultats :

Notre source contient du Thorium 232, qui émet des particules alpha à une énergie de 4 meV. Or les mesures faites démontrent la présence d'autres isotopes radioactifs, qui émettent des particules alpha jusqu'à 12 meV. Nous attendons donc les résultats définitifs de la mesure afin de déterminer la composition précise de notre échantillon de thorite. En attendant, nous avons décidé de mesurer l'activité radioactive nous même, grâce à un compteur de radioactivité C.R.A.B.

On place l'échantillon de thorite face au capteur du CRAB. Ce dernier compte le nombre de désintégrations radioactives dans un intervalle de temps sélectionné ( on choisit ici de régler le CRAB sur une durée de détection de 50s ). Il est préférable de réaliser plusieurs mesures afin d'obtenir une valeur moyenne du nombre de désintégrations mesurées. La désintégration d'un noyau radioactif est en effet un phénomène aléatoire ; sur des mesures de petite envergure ( l'échantillon étant peu radioactif et la durée de la mesure assez rapide ), on peut constater des écarts significatifs entre deux mesures successives . On peut aussi faire varier la distance entre le capteur et la source radioactive. On obtient ainsi les résultats suivants :

distance à la source (cm)	nbre de désintégrations (50 s)	nbre de désintégrations/s
0	290	5,8
1	90	1,8
2	87	1,74
5	24	0,48
10	23	0,46

Cependant, cela ne correspond pas à l'entièreté des noyaux radioactifs émis par l'échantillon, mais uniquement à ceux qui se sont propagés dans la fenêtre de détection du CRAB. Considérons le schéma suivant :



Ici, le nombre de désintégrations mesurées par Le CRAB correspond aux particules émises par la source dans un angle d'émission que nous nommerons  $\theta$ . L'activité de la source est en réalité caractérisée par une sphère, en trois dimensions et à  $360^\circ$ . Elle se calcule de la manière suivante.

-Le capteur du CRAB est un demi-cercle de rayon  $r = 1,525$  cm. Son aire est :

$$A(c) = \pi * r^2 \approx 3,66 \text{ cm}^2$$

-L'angle d'émission de la source radioactive est une sphère dont la taille dépend de la distance entre la source et le capteur (c'est le diamètre de la sphère). On prend ici  $d = 2$  cm. Son aire est :

$$A(s) = 4\pi d^2 = 4\pi 2^2 = 16\pi \approx 50,26 \text{ cm}^2$$

-Le nombre total de désintégrations dans la période de mesure  $t = 50$  s est donnée par le rapport entre les deux aires, multiplié par le nombre de désintégrations comptées par le capteur à une distance  $d = 2$  cm. Ainsi :

$$N = \frac{A(s)}{A(c)} * 87 = \frac{50,26}{3,66} * 87 \approx 1195$$

- On obtient ainsi le nombre de désintégrations total  $N$  pour 50s soit  $N = 1195$ . On peut alors calculer l'activité de la source radioactive :

$$A(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{1195}{50} \approx 24 \text{ Bq}$$

L'activité de cet échantillon de thorite est donc  $A = 24$  Bq. Cela correspond aux différentes valeurs que nous avons pu trouver, qui considéraient que l'activité d'un échantillon de thorite d'1 gramme. On peut comparer cette valeur avec celle de l'activité mesurée dans la chambre. On place l'échantillon et on effectue un comptage des traces émanant de la thorite. Pour une intervalle de 1 seconde, on compte en moyenne 6.41 traces. Cela correspond aux valeurs de l'ictomètre, mais pas à celles du

C.R.A.B. Encore une fois, cela est dû à une question de plan : le comptage au C.R.A.B compte l'activité en 3 dimensions, alors que les comptages à l'ictomètre et dans la chambre sont en 2 dimensions.

## Conclusion

Au terme de cette année de recherche nous sommes heureux d'avoir pu mener notre projet à bien. Nous avons pu atteindre nos objectifs, c'est à dire construire une chambre à brouillard et y faire diverses expériences. Ce projet nous a permis d'en apprendre beaucoup à la fois en physique et en méthode de travail. Ce dispositif nous ouvre à d'autres manipulations, comme l'étude des changements d'état (grâce à notre système de refroidissement), de la charge d'une particule (introduction d'un aimant dans l'enceinte pour calculer la charge d'une particule à partir de sa trajectoire et du champ de l'aimant) ou encore l'étude de la composition de notre échantillon radioactif, grâce au partenariat avec le G.A.N.I.L.

Nous sommes heureux de voir que ce projet nous amène toujours à de nouvelles pistes de recherche. A court terme nous comptons nous concentrer sur l'amélioration de notre système de refroidissement, et l'étude de la composition de la source radioactive (nous avons reçu des résultats peu avant la publication de ce mémoire, que nous n'avons pas encore pu exploiter).

## RÉFÉRENCES ET SOURCES

### Références et sources:

Théodor Wulf :

<https://sites.google.com/site/rayonscosmiques/l-histoire-de-la-decouverte-des-rayons-cosmiques/biographie/theodor-wulf>

Wikipédia:

<https://fr.wikipedia.org/>

Science à l'école;

<http://www.sciencesalecole.org/>

[http://www.sciencesalecole.org/wp-content/uploads/2016/06/rayons\\_cosmiques](http://www.sciencesalecole.org/wp-content/uploads/2016/06/rayons_cosmiques)

Université Paris Diderot:

<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~phyexp/pmwiki.php/Detecteur/Chambre%C3%80Brouillard>

Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen:

<http://www.lpc-caen.in2p3.fr/article326.html>

G.A.N.I.L.:

<https://www.ganil-spiral2.eu/fr/>

Classification des différents isotopes connus :

<http://www.lnhb.fr/nuclear-data/nuclear-data-table/>

Manuel - Devoirs surveillés de Physique 1ère S Edition Hachette

## Remerciements :

Nous tenons à remercier des personnes qui nous ont entouré et aidé à divers moments de cette aventure. Nous remercions tout d'abord nos professeurs, M. Vanden Driessche et M. Manier. Le G.A.N.I.L, Jean Charles Thomas et Thierry Clerc pour nous avoir accueilli patiemment et pour avoir répondu à nos questions. Merci à Nathanaël, Pierre, Alexandre et Mathis qui nous accompagnés au cours de ce projet. Merci aussi à Nathalie Anne pour tout le matériel fourni et sa patience.