

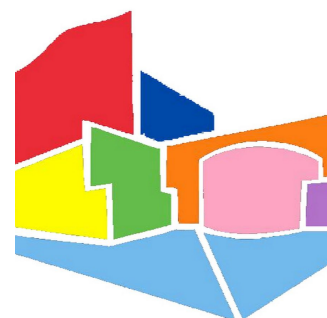
CLOUD.IS.(S)C(H)OOL

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



Introduction.....	3
1. Présentation et origines du projet	
2. Problématique	
1. Rayons cosmiques et chambre à brouillard.....	4
1.1 Les rayons cosmiques	
1.2 Histoire et fonctionnement de la chambre	
2. Construction d'une chambre à brouillard.....	10
2.1 Chambre à carboglace	
2.2 Autres solutions	
2.3 Effet Peltier	
2.4 Prototype final	
3. Etude d'un échantillon de thorite.....	13
3.1 Sécurité et activité de notre source	
3.2 Composition de l'échantillon	
3.3 Simulation du pouvoir d'arrêt	
Conclusion.....	19
Annexe, sources et remerciements.....	20

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 proposé 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 sur une chambre à brouillard (figure 1). Le but était de réussir à obtenir un dispositif fonctionnel et reproductible et de s'en servir afin d'étudier les rayons cosmiques ainsi que certaines particules.

2. Problématique

Pour ce faire, nous avons décidé de réaliser une chambre à brouillard. Ce dossier portera donc sur les recherches et expériences menées pour la conception d'une chambre à brouillard et l'observation de particules. 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 exploité dans des lycées afin de pouvoir initier les élèves à la physique moderne, le tout sans grandes contraintes matérielles pour les établissements.

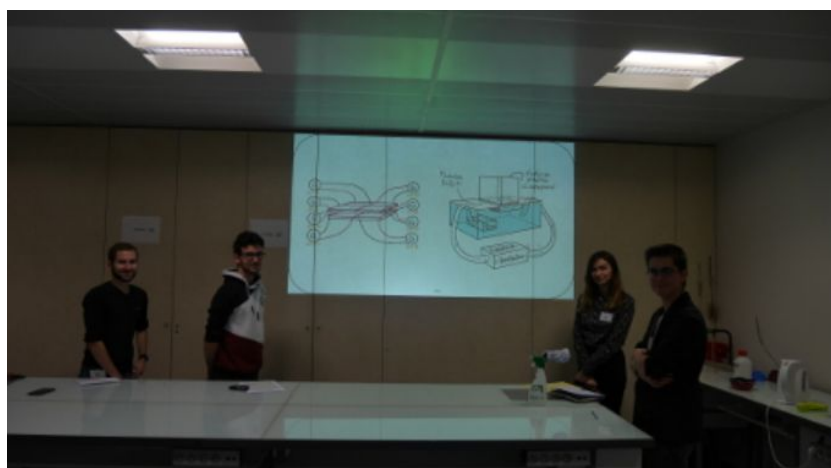
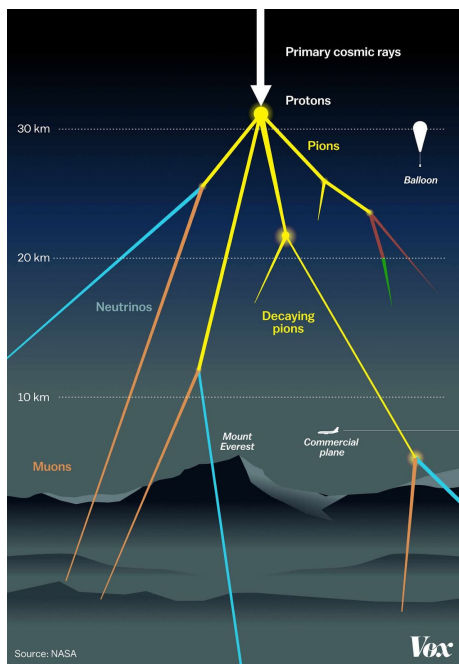


Figure 1 : photo prise lors de la demi-finale de Marne-La-Vallée

PARTIE 1 : CHAMBRE À BROUILLARD ET RAYONS COSMIQUES

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 au niveau du sol grâce à un électromètre. Il remarque alors que la valeur de l'activité change en fonction de l'altitude. 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 brouillard de Wilson.



Mais au fait, que sont les rayons cosmiques ? Les rayons cosmiques sont des flots de particules provenant de l'espace. Ces particules, dites primaires, lorsqu'elles entrent dans l'atmosphère, produisent des particules dites "secondaires" en formant des "branches" ou gerbes de particules (voir figure 2).

Figure 2 : schéma représentant une gerbe de particules issues d'un rayon cosmique primaire

Certains de ces rayons proviennent même d'en dehors de notre galaxie. Parmi ces rayons primaires, 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 d'une éruption solaire, aura entre 10 et 100 MeV. Une particule provenant de l'explosion d'une supernovae et de l'accélération par un champ magnétique aura entre 100 MeV et 10 GeV. Une particule provenant de quasars, d'AGN (Active Galactic Nucleus) ou de noyaux cosmiques lumineux produira des particules jusqu'à une énergie d'environ 10^{11} GeV. La majorité des rayons cosmiques d'énergie inférieure à 10^9 GeV provient de notre galaxie. Le champ magnétique terrestre nous protège des vents solaires. Les rayons dits primaires interagissent avec les molécules d'air en entrant dans l'atmosphère. Voici les différents types de rayons cosmiques et leurs modes d'interaction :

- 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 pions neutres se désintègrent ($t \approx 10^{-16}$ s) en deux photons. Les pions chargés ($t \approx 2,6 \times 10^{-8}$ s) produisent des muons et des neutrinos. Les muons sont des particules détectables au niveau du 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 associées. Tout d'abord, les électrons perdent de l'énergie à leur entrée dans l'atmosphère, c'est l'interaction nommée rayonnement de freinage (au passage d'une particule dans le champ coulombien d'un atome, la déviation s'accompagne de l'émission d'un rayonnement électromagnétique (photon) – et la particule perd donc de l'énergie). Les photons créent des paires électron-positrons qui perdent aussi leur énergie de la même façon que les électrons.

Au niveau du sol, car les autres particules sont absorbées et ont des durées de vie trop courtes, il ne reste pratiquement plus que des muons (75%). Ceux-ci perdent environ 2 GeV avant d'atteindre le sol. Le flux de particules est, en moyenne, d'un muon par centimètre carré par minute. Si nous parvenons à détecter des muons au niveau du sol malgré leur temps de vie très court ($t \approx 10^{-6}$ s), c'est grâce à leur vitesse relativiste. Puisque nous n'avons pas le même référentiel de temps et parce que la particule est très rapide (elle va presque à la vitesse de la lumière), elle pourra atteindre le sol. C'est un phénomène de relativité restreinte.

Chaque particule réagit différemment avec la matière :

- Les neutrinos interagissent faiblement avec la matière. La probabilité d'interaction est d'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 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 de particules chargées selon la distance et le matériau traversé est donnée par la formule de Bethe Bloch. Nous n'avons pas étudié la formule en elle-même parce que nous n'étions pas certains d'en comprendre tous les détails ni même de pouvoir l'utiliser. Cependant nous avons pu saisir quelles étaient les principales grandeurs prises en compte dans la formule. Elle prend en compte, d'une part,

l'énergie, la vitesse, la charge de la particule et la longueur de son parcours. Et d'autre part, la charge élémentaire et la masse au repos de l'électron. Mais aussi la densité des électrons du matériau et son potentiel d'excitation moyen. 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 décroît 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, c'est la conséquence des effets relativistes qui augmentent la probabilité d'interaction, de plus, la vitesse étant moins élevée, l'ionisation est plus grande. Chaque particule a un comportement différent, ce qui permet aussi leur identification.

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. Le terme "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.

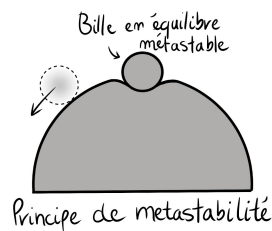


Figure 3 : illustration du principe de métastabilité

Le principe est illustré par la figure 3 : 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, provoque le passage du gaz à un autre état. 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 une chambre à brouillard n'est utile que pour l'observation des particules chargées. 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 (voir figure 4).

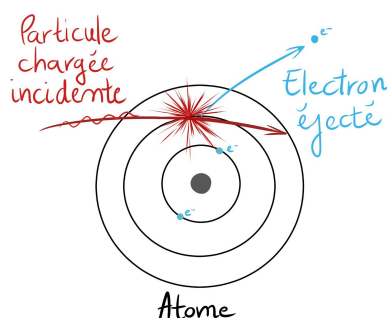


Figure 4 : illustration du processus d'ionisation

On peut identifier la particule observée grâce à sa traînée. Ainsi, une particule α , considérée comme lourde (la masse du noyau d'hélium-4 est de $6,695210^{-27}$ 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 plus petite. L'aspect de la trace peut être déterminé grâce à l'équation de Bethe, qui peut être ramenée au rapport au carré de la charge de la particule sur sa vitesse. Ainsi, à vitesse égale, une particule α , chargée $2+$, créera quatre 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 est beaucoup plus rapide qu'une particule α , avec $v=15\ 000$ km/s (à énergie égale, une particule légère comme l'électron est plus importante que celle d'une particule lourde). 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 rarement 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. 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 d'obtenir une vapeur métastable* 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. :

- 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'une diminution 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'H₂O, 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 issus de la source radioactive, résultat de la condensation de la vapeur d'alcool au passage de particules émises par le radium.

** 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.*

Grâce à son modèle de chambre à brouillard dit "à expansion" ou "chambre de Wilson", le physicien a reçu le prix Nobel de physique en 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 mêmes 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 (voir figure 5). L'éthanol contenu dans le haut de la chambre est 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 correspondant à celles de son état liquide. Ainsi, comme nous l'avons dit plus tôt, la moindre perturbation entraîne son passage à l'état liquide.

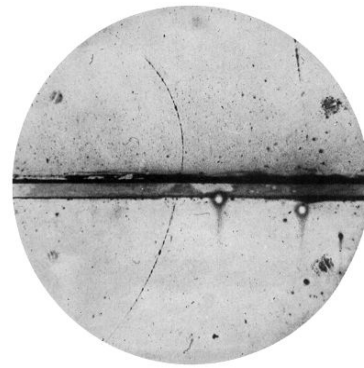
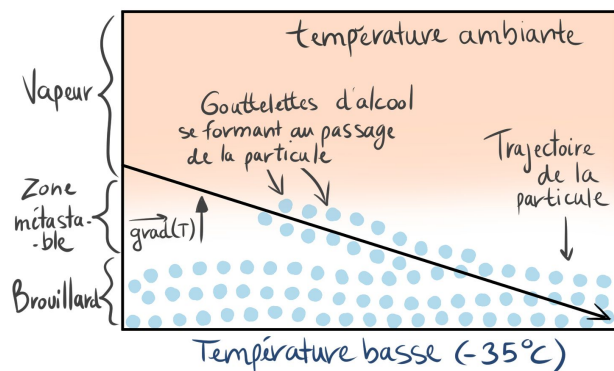


Figure 5 : illustration de la mise en place d'un gradient de température)

Figure 6 : photo d'un positron dans une chambre à brouillard par Anderson

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 α et β sont en effet des phénomènes nouveaux à cette époque : la radioactivité β est découverte en 1896 par Henri Becquerel et la radioactivité α en 1898 par Ernest Rutherford. En introduisant des échantillons de roches radioactives ils peuvent observer des particules α et des électrons, qui sont les produits de désintégrations des isotopes radioactifs contenus dans les échantillons. 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 l'existence d'une particule de masse égale à celle de l'électron, mais de charge opposée. Dirac postule alors l'existence du positron, une antiparticule allant de pair 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 (figure 6).

PARTIE 2 : CONSTRUCTION D'UNE CHAMBRE À BROUILLARD

1. Chambre à carboglace

Pour créer une chambre à brouillard, on peut utiliser comme moyen de refroidissement de la glace carbonique ou “carboglace”. Nous en avons utilisé au début du projet avec un prototype de chambre réalisé par une précédente équipe de notre lycée (voir figures 7 et 8). Ce procédé fonctionne et permet d’obtenir des traces facilement. Mais la carboglace est difficile à obtenir. Il nous a donc fallu trouver une solution alternative pour refroidir notre chambre efficacement.



Figures 7 et 8 : photos de la chambre à carboglace

2. Autres solutions

Pour cela, nous avons essayé diverses solutions alternatives pouvant potentiellement refroidir suffisamment le système. Nous avons essayé deux mélanges réfrigérants. Le premier était constitué de glace et de sel (figure 9). Un mélange pouvant descendre théoriquement à une température de -20° , ce qui n’était pas suffisant d’autant plus que nous n’avons atteint une température que de -10° . Le deuxième mélange frigorifique était lui composé de sel et de chlorure de calcium. Ce mélange permet d’atteindre en théorie des températures de -40° , suffisantes mais difficiles à atteindre en pratique. Nous avons donc aussi abandonné cette idée et nous nous sommes penchés sur les modules à effet Peltier.



Figure 9 : chambre à brouillard utilisant le mélange glace et sel

3. Effet Peltier

L'effet Peltier a été découvert en 1834 par le physicien Français Jean-Charles Peltier. Il décrit un déplacement de chaleur au sein de matériaux conducteurs de nature différentes soumis à un courant électrique, liés par des jonctions.

Un module à effet Peltier est un composant électrique composé d'une succession de couples de semi-conducteurs faisant jouer le rôle de fluide caloporteur (Qui transporte la chaleur) aux électrons traversant le module (courant électrique). Le tout est pris en "sandwich" entre deux plaques conductrices de chaleur (voir figure 10).

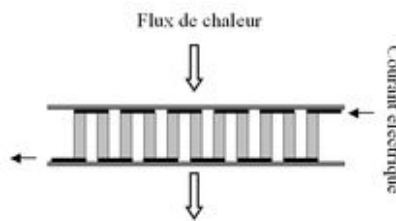


Figure 10 : schéma d'un module à effet Peltier

Théoriquement, sous l'effet d'un courant électrique, l'une des jonctions va absorber de la chaleur, la seconde jonction va en dégager. Il y a donc transfert de chaleur d'une face du module à l'autre. C'est pour cela qu'il faut donc refroidir la face chaude. A la fois pour éviter l'usure de la cellule mais aussi pour dégager la chaleur qui s'accumule sur la face chaude. Plus cette dernière sera froide, plus le module sera efficace.

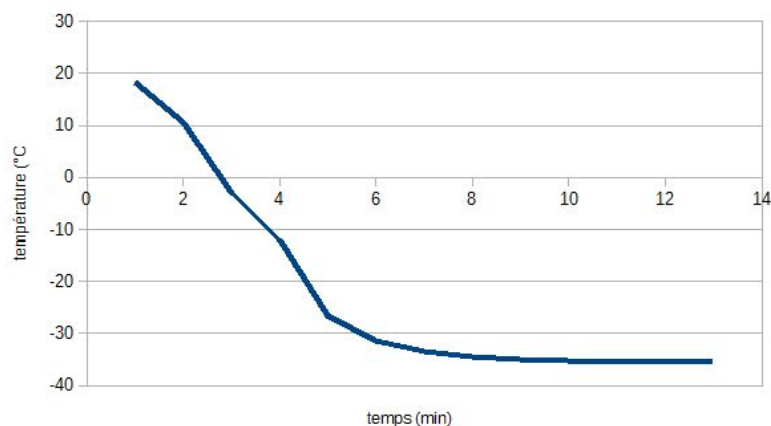
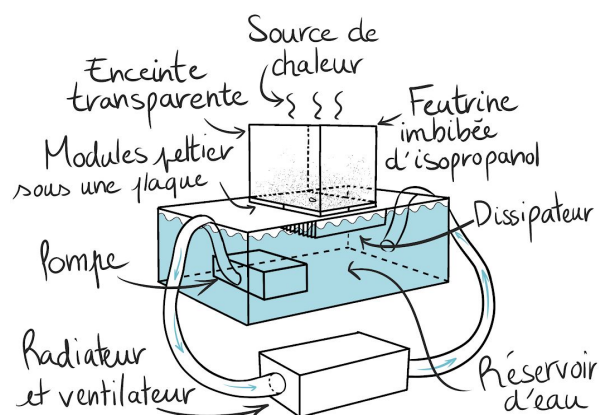
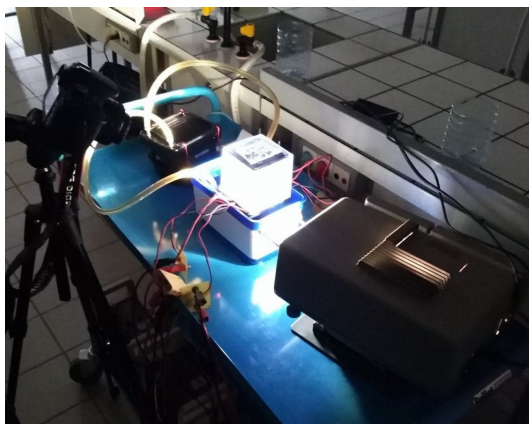


Figure 11 : évolution de la température de la face froide d'un module au cours du temps

4. Différents prototypes

Le premier prototype fonctionnel que nous avons obtenu utilisait le principe de convection thermique afin de dissiper la chaleur produite par les modules Peltier. La convection thermique désigne le transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide en mouvement ou, dans notre cas, entre un fluide en mouvement (l'eau) et une paroi solide (le radiateur). Contrairement aux précédents prototypes utilisant la conduction thermique (la conduction thermique consiste en un transfert d'énergie entre deux régions en contact dans un même milieu), la convection thermique présentait l'avantage de pouvoir durer dans le temps et également de faciliter les expérimentations, nous avons donc opté pour un refroidissement par convection, permettant de descendre à -35°C en quelques minutes (voir figure 11)

Ce prototype présentait néanmoins quelques défauts : en plus d'être assez volumineux, l'eau utilisée pour refroidir le radiateur était directement rejetée. Par souci écologique ainsi que logistique nous avons décidé de lui apporter quelques modifications. La chambre que nous utilisons actuellement met donc en œuvre un circuit de refroidissement fermé : la chaleur est évacuée à l'aide d'un ventilateur relié à un radiateur qui lui-même évacue la chaleur du circuit d'eau (voir figures 12 et 13). Les alimentations de laboratoires ont également été remplacées par des alimentations d'ordinateur plus légères et moins coûteuses.



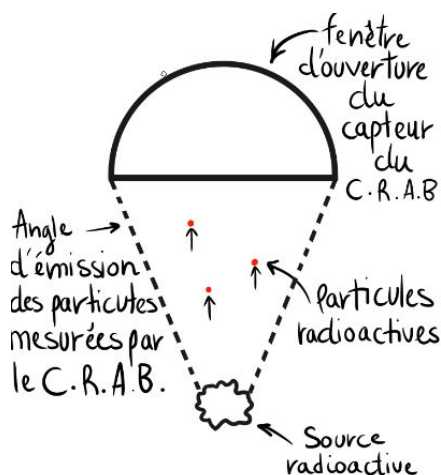
Figures 12 et 13 : photo et schéma de la chambre avec le circuit de refroidissement

PARTIE 3 : ETUDE D'UN ÉCHANTILLON DE THORITE

1. Sécurité et activité de notre source

On place un échantillon de thorite dans la chambre à brouillard pour étudier sa radioactivité. La thorite est une roche qui contient du thorium-232, un isotope radioactif du thorium qui se désintègre par émission alpha. Notre échantillon mesure moins d'1mm de diamètre pour 0.13g environ. On observe l'émission de noyaux d'hélium-4 dans la zone métastable de la chambre. Cet échantillon étant radioactif, on peut se demander en premier lieu quelles sont les mesures de sécurité relatives à sa manipulation. Pour cela, on va commencer par mesurer son activité à l'aide d'un CRAB (Compteur de Radioactivité Alpha et Beta).

Le CRAB est un compteur de radiations de type Geiger-Müller. Il est composé d'un capteur en forme de demi-cercle dont l'aire est 3.66 cm^2 (voir figure 14). On place l'échantillon de thorite à 2cm du capteur. Il émet des rayonnements alpha dans toutes les directions de l'espace. On appelle cet ensemble de directions la sphère d'émission de l'échantillon. L'aire de cette sphère d'émission dépend de la distance au capteur, qui est aussi le diamètre de la sphère. Ici, l'aire est 50.26 cm^2 . On peut calculer l'activité totale de l'échantillon en effectuant un rapport entre l'aire du capteur et l'aire de la sphère d'émission.



distance à la source (cm)	nbre de désintégrations (50s)
0	290
1	90
2	87
5	24
10	23

mesures réalisées avec le CRAB

Figure 14 : schéma de principe de la mesure de l'activité de l'échantillon de thorite à l'aide du CRAB

On compte un bruit de fond de 0.5 coups par seconde, et une activité de 5.87c/s au contact. Le pouvoir d'arrêt d'une particule alpha est faible, elle parcourt rarement plus de 5cm dans l'air, ce qui explique la décroissance rapide du nombre de coups en fonction de la distance. On prend donc $d = 2\text{cm}$ comme distance de référence. Le nombre total de désintégrations dans la période de mesure $t = 50\text{s}$ est donnée par le rapport entre les deux aires, multiplié par le nombre de désintégrations comptées par le capteur à la distance d .

$$N = \frac{A(s)}{A(c)} \cdot 87 \simeq 1195$$

N : nombre de désintégrations pour $t = 50\text{s}$.

$A(s)$: aire de la sphère d'émission de l'échantillon de thorite

$A(c)$: aire du capteur

On peut maintenant calculer l'activité totale de la source $A(t) = \frac{N}{\Delta t} = \frac{1195}{50} \simeq 24 \text{ Bq}$.

Cette valeur correspond grossièrement aux ordres de grandeurs trouvés pour un échantillon de cette taille et de cette composition (*1). Pour vérifier cette valeur, on effectue un comptage dans la chambre à brouillard : on compte le nombre de particules émises par la source sur un intervalle d'une seconde (on effectue cette tâche en comptant visuellement les traces à partir de plusieurs extraits vidéo (*2) pour obtenir une moyenne). On obtient une moyenne de 6.47c/s (rappelons que les mesures du CRAB montrent 5.87c/s au contact). Ces deux mesures sont prises dans des conditions géométriques semblables : le détecteur observe une fenêtre d'émission de 180° (en réalité, la zone métastable dans la chambre est en 3 dimensions mais la hauteur est négligeable et on ramène cette zone à une surface plane). Les mesures étant concordantes, on peut valider notre valeur de 24Bq.

Cette valeur nous permet de dire que la manipulation de l'échantillon est sans risque. En comparaison, le corps humain a une activité moyenne de 10 000Bq. Cependant, si on ramène cette activité à la masse, l'activité de l'échantillon est 1 233 fois plus forte que celle de notre corps !

échantillon (130 mg)	corps humain (70 kg)
24 Bq	10^4 Bq

185 Bq/g	0.15 Bq/g
----------	-----------

comparaison entre l'activité de l'échantillon et celle du corps humain

Nous nous sommes ensuite rendus au GANIL (Grand Accélérateur National d'ions Lourds) qui est un laboratoire de recherche situé à Caen, spécialisé notamment dans l'étude des noyaux radioactifs. Nous y avons rencontré un spécialiste en radioprotection pour parler de notre échantillon. Nous avons commencé par mesurer la radioactivité de l'échantillon grâce à un ictomètre, un appareil mesurant les rayons ionisants (comme un compteur Geiger-Müller). A notre grande surprise, nous avons mesuré de la radioactivité α , mais aussi β et γ .

	bruit (c/s)	activité (c/s)
α	0	6
β	5	200
γ	25	175

mesures réalisées avec un ictomètre au GANIL

Cet expert nous a expliqué que cette activité était négligeable. Remarquons d'ailleurs au passage que la valeur de l'activité mesurée en α est similaire à celle mesurée précédemment dans la chambre et avec le CRAB.

Une particule α est lourde et énergétique, de masse $6,695210^{-27}$ kg. Cette masse lui confère une certaine inertie, qui lui permet de traverser environ 5cm d'air avant d'être arrêtée. Du fait de sa taille et de sa charge électrique elle interagit beaucoup avec la matière et ralentit fortement lors d'un choc. Ainsi une particule α est arrêtée par une feuille de papier (on peut vérifier cela dans la chambre à brouillard en plaçant un bout de papier sur la trajectoire d'un α . La trace se développe jusqu'au papier mais pas au delà). Le seul danger avec un c'est qu'il se retrouve directement en contact avec les muqueuses, son énergie pouvant altérer les cellules ou l'ADN. Ainsi, il faut éviter le contact avec les yeux, les risques d'ingestion et la formation de poussières inhalables. Là aussi, l'expert nous a précisé que l'activité de notre échantillon était tellement faible que les risques étaient inexistantes.

2. Composition de l'échantillon

Nous avons déposé notre échantillon au GANIL pendant deux semaines afin d'effectuer un spectre gamma de l'échantillon. Jean Charles Thomas, le chercheur qui

s'est chargé d'effectuer ces mesures grâce à un détecteur germanium ultra-pur, nous a envoyé un spectre en énergie X et γ de l'échantillon (voir figure 15).

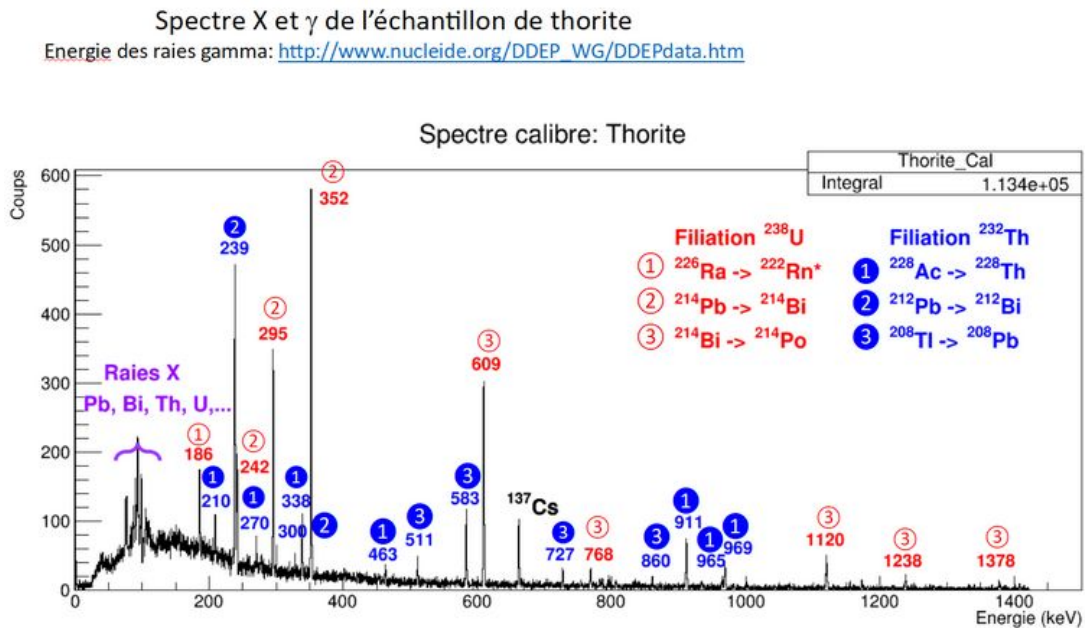
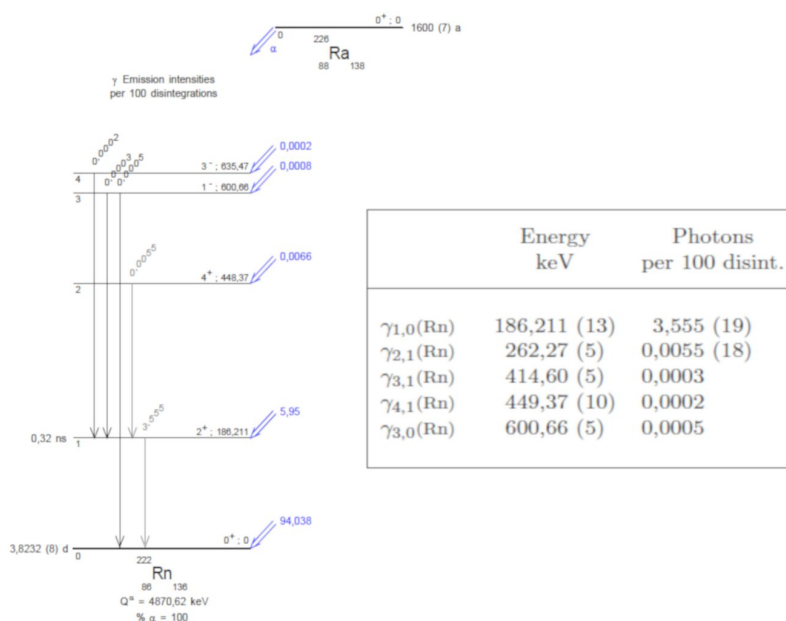


Figure 15 : spectre X et γ de l'échantillon

Ce spectre, qui présente le nombre de coups mesurés en fonction de l'énergie (en KeV) permet de mettre en évidence plusieurs décroissances radioactives. En effet, chaque émission d'une particule α est suivie de celle d'une ou plusieurs raies γ caractéristiques. On met donc en évidence la présence de thorium-232 (*4) à partir de sa chaîne de désintégration. Cependant, on observe aussi la présence d'uranium-238 (*4) à travers sa chaîne de désintégration. On peut se demander pourquoi on s'intéresse au spectre X et γ alors qu'on étudie la radioactivité α . Pour répondre, on s'intéressera au schéma de désintégration du radium-226 : $\text{Ra} (226) \rightarrow \text{Rn} (222) + \text{He}$ (4).



On voit (figure 16) que lors de sa désintégration un noyau de radium-226 produit directement un noyau de radon-222 dans un état stable (on parle d'«état fondamental»), et ce dans 94.038% des cas.

Figure 16 : schéma de la désintégration du radium-226

Le noyau de radon produit est stable, «désexcité», car les nucléons le composant occupent tous les couches d'énergies les plus basses accessibles dans le noyau. Dans le cas où les derniers nucléons occupent des couches d'énergies plus élevées, on forme un noyau de radon dans un état excité, dans 5% des cas environ. Pour se "désexciter" vers son état fondamental, ce noyau de radon émet alors un rayon γ à une énergie de 186 keV, correspondant à la différence d'énergie entre le noyau dans son état excité et dans son état fondamental. On retrouve ces valeurs d'énergie dans le tableau ci-dessus et dans le spectre en énergie γ . Pour en revenir au calcul de l'activité fait précédemment, on peut alors dire que cette activité (de 24 Bq) correspond à celle de l'ensemble des radionucléides présents dans l'échantillon et qui émettent des particules α , et non seulement celle du thorium-232. On compte au final la présence de 27 isotopes différents dans les deux filiations radioactives identifiées.

3. Simulation du pouvoir d'arrêt

Une autre mesure réalisée au GANIL concernant le spectre en énergie α (figure 17) nous a permis de calculer la longueur moyenne que devrait avoir la trajectoire d'une particule α traversant notre chambre à brouillard. Pour trouver cette longueur nous sommes passés par plusieurs étapes. Sur le spectre, nous remarquons que le maximum de coups est d'environ 18 jusqu'à une énergie de 4,5 MeV. Donc nous émettons l'hypothèse que l'énergie maximale des particules alpha le plus souvent émises par notre source se trouve aux alentours de 4,5 MeV. Ensuite nous avons utilisé un logiciel nommé *Astar* (*5) nous permettant d'obtenir le pouvoir d'arrêt des particules chargées traversant un matériau. Le pouvoir d'arrêt décrit l'énergie perdue par des particules chargées en fonction de la distance parcourue. Les particules perdent cette énergie en ionisant les atomes sur leur passage. Dans le logiciel nous avons sélectionné le milieu que traverse notre particule, de la vapeur d'eau (c'est ce qui se rapprochait le plus de notre situation), nous avons entré l'énergie de notre source, 4,5 MeV et le logiciel nous donne un pouvoir d'arrêt de $9,66 \times 10^2 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$. Pour obtenir la perte d'énergie par centimètre on multiplie cette valeur par la masse volumique de l'air, $1,2 \text{ kg/m}^3$, ce qui nous donne $1,16 \text{ MeV} \times \text{cm}^{-1}$. Pour conclure, la distance moyenne que doit parcourir une particule α au sein de notre chambre est de l'ordre de 3,88 cm.

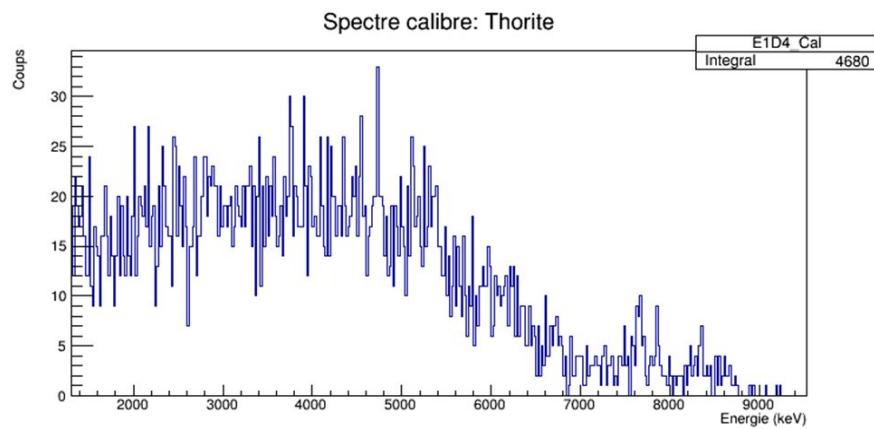


Figure 17 : spectre α de l'échantillon de thorite

Il est possible de relier cette valeur théorique à nos observations dans la chambre à brouillard. Pour cela, on va utiliser de nouveau les vidéos qui ont servi au comptage de l'activité (*2). On utilise un outil de montage photo pour mesurer la longueur des traces et effectuer une moyenne. On choisit ensuite une longueur de référence connue pour effectuer un produit en croix, pour connaître la longueur réelle. Avec un échantillon de 150 traces, on arrive à une longueur moyenne de 3.93 cm environ, très proche de la valeur théorique attendue

CONCLUSION

Nous sommes heureux d'avoir pu mener nos objectifs à bien. Ce projet nous a permis de réaliser un prototype de chambre à brouillard peu coûteux (*6), pouvant servir de base à l'initiation à la physique moderne. Ce projet nous a permis d'en apprendre beaucoup en physique, de suivre une démarche de travail scientifique, de travailler avec du matériel de laboratoire et de découvrir l'univers de la recherche scientifique. Ayant atteint nos objectifs de départ, nous comptons cependant continuer à travailler sur ce sujet. Nous avons en effet au cours de nos recherches ouvert la voie à d'autres champs d'étude.

Dans un premier temps, notre système de refroidissement peut servir à l'étude des changements d'état. Nous avons réalisé une ébauche d'expérience qui consistait à étudier l'évolution de l'état de différents liquides en fonction de la température, en plaçant un bécher sur les modules à effet Peltier (voir figure 18).

Nous nous sommes aussi intéressé à la déviation des particules en plaçant des aimants autour de l'enceinte de la chambre. On espère ainsi, à partir de l'observation de la déviation, pouvoir calculer la charge d'une particule.

Notre échantillon de thorite pourra aussi servir à la calibration de détecteurs de rayonnement γ du GANIL par des élèves de 2^{nde} de notre lycée lors d'un stage effectué au GANIL.

Enfin, on peut aussi s'intéresser à l'étude des rayons cosmiques et l'influence de différents paramètres tels que l'altitude. On peut aussi étudier le taux d'absorption de différents matériaux en les plaçant au dessus de la chambre à brouillard.

Pour conclure, nous sommes motivés à poursuivre et étendre nos recherches au-delà de l'échéance des Olympiades de Physique.

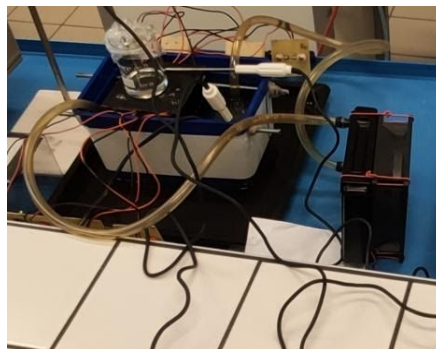


Figure 18 : étude de changement d'état avec les cellules à effet Peltier la chambre à brouillard

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont accompagné et aidé au cours de cette année et demi de recherches. Merci à Cédric Vanden Driessche et Antoine Manier, nos professeurs, de nous avoir guidé. Merci également à Jean Charles Thomas et thierry Clerc, du GANIL, pour nous avoir accueilli et avoir répondu à nos questions. Nous tenons aussi à remercier Nathalie Anne pour le matériel fourni et sa patience. Enfin, merci à Nathanaël, Pierre, Alexandre et Mathis qui nous ont accompagné au cours de ce projet.