

# CLOUD CHAMBER



2013 - 2014

Collège-Lycée Expérimental

Hérouville-Saint-Clair

Perrine Hermon ; Robin Inizan ; Hugo Labory ;  
Théo Marischaël ; Fanny Rabu ; Olivier Thomas  
encadrés par : Cédric Vanden Driessche ; Antoine Manier



# Sommaire

Abstract	p 3
Introduction	p4
I - Théorie de la chambre à brouillard et de la physique des particules	p 5
II - Un premier prototype ; la chambre à brouillard avec de la carboglace	p 8
1 - Principe	p 8
2 - Expériences, protocoles	p 9
3 - Analyse / discussions : des résultats satisfaisants mais des problèmes à résoudre	p 9
III - La solution apportée par l'effet Peltier	p 11
1 - Définition et principe	p 11
2 - Expériences, protocoles et résultats	p 13
3 - Analyse / discussions autour de la cellule à effet Peltier	p 18

## Abstract

The Cloud chamber's project is composed of six students of Terminal Scientific and began last year.

On the one hand, our project was to build a cloud chamber which could be used in the long-term in the high-school. The aim would be to use this chamber to illustrate the lessons on the particules of the matter.

First, we tried with a prototype established from carboglace (solidification of carbone dioxyde around  $-80^{\circ}\text{C}$ ). This prototype was working very well and we used it at many particular events (party at the high-school, Ecolyscience project). However, even if this first idea was perfect for some events, we can't use it regularly. After careful consideration, a second idea came to us : to work from Peltier effect cells which are fed thanks to an electric current.

At the moment, we are working on this second idea which seems to be the most favourable for regular use but we can't get a trace of particles. We only see a light cloud.

However the results are conclusives. Indeed, we obtain  $-23^{\circ}\text{C}$  on the cell which is a good beginning. Moreover, we are in partnership with the FABLAB where we sent a Sketchup's plan in order to get help in the realisation of the chamber.

Besides, thanks to this project, we have met physicians and researchers coming from the of GANIL and from CRISTMAT who gave us advices. We also visited their laboratory and the Zoom's exposition. This one was presenting a very clean cloud chamber which motivated us to make something like that.

During these two years we learnt to get familiar with the experimental procedure and to understand what was not working. We also learnt to be together and to listen to each other.

## Introduction

Le projet chambre à brouillard rassemble 6 élèves de Terminale S depuis deux ans qui ont décidé de travailler sur un projet commun. Notre problématique étant de trouver comment voir l'infiniment petit au travers d'une expérience réalisable en classe. Cette chambre nous permet donc de regarder des traces de particules cosmiques.

Ainsi, l'idée était de pouvoir créer une chambre qui serait réutilisable dans les années à venir.

Dans un premier temps nous avons fait un premier prototype avec de la Carboglace qui a très bien fonctionné. Grâce à ce premier essai nous avons pu participer à une présentation orale l'année dernière dans le cadre de Ecolyscience.

Mais certains inconvénients ont fait que nous avons dû nous pencher sur une autre source pour fournir le gradient de température dont nous avons besoin pour faire apparaître le brouillard.

Notre deuxième prototype, qui est celui sur lequel nous travaillons en ce moment même, utilise les cellules à effet peltier. Son fonctionnement sera détaillé dans le développement.

Nous présenterons ainsi dans ce mémoire la progression de notre réflexion en abordant dans un premier temps une partie théorique sur la chambre à brouillard et la physique des particules puis traiterons de notre premier prototype de chambre jusqu'au stade où nous sommes arrivés aujourd'hui.

# I - Théorie de la chambre à brouillard et de la physique des particules

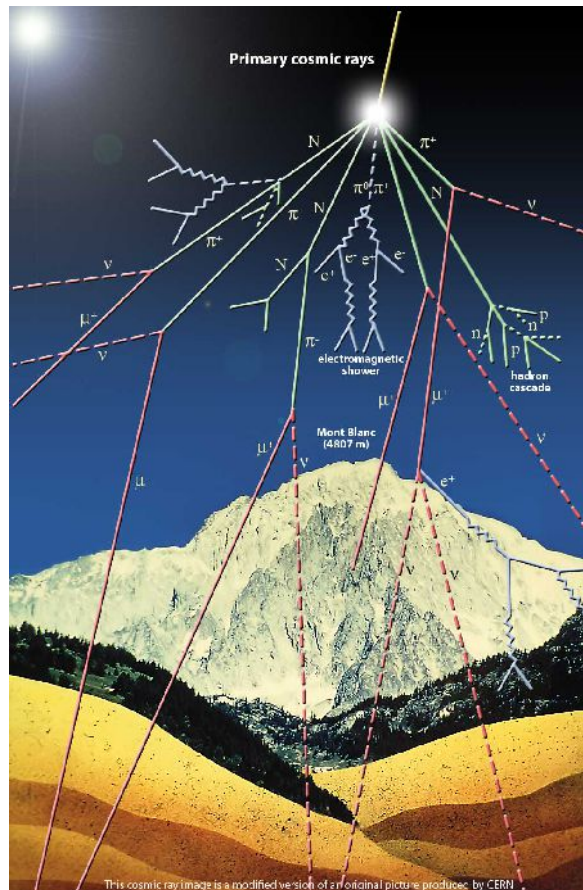
Le modèle standard, théorie qui explique comment agissent les particules de matière, ainsi que leurs forces et particules porteuses, prévoit l'existence d'une douzaine de particules élémentaire qui composent l'ensemble de la matière de l'univers.

## • TABLEAU DES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES DANS LE CADRE DU MODÈLE STANDARD •

Matière						
	ATOME	NOYAU	NUCLÉONS (Protons & Neutrons)			
	Électron		Quarks			
<b>FERMIONS</b> La matière ordinaire est composée de particules de ce groupe	<b>LEPTONS</b> peuvent se déplacer librement		<b>QUARKS</b> prisonniers de particules plus grandes, ils ne sortent pas individuellement.			
	Première Famille	<b>ELECTRON</b> Responsable de l'électricité et des réactions chimiques. Sa charge est -1.	<b>NEUTRINO ELECTRON</b> Sans charge électrique et interagissant rarement avec le milieu environnant.	<b>BAS</b> Sa charge électrique est - 1/3e. Le Proton en contient 1, le Neutron 2.	<b>HAUT</b> Sa charge électrique est + 2/3e. Le Neutron en contient 1, le Proton 2.	
		Deuxième Famille	<b>MUON</b> Un compagnon plus massif de l'électron.	<b>NEUTRINO MUON</b> Propriétés similaires à celles du Neutrino électron.	<b>ETRANGE</b> Un compagnon plus lourd du "Bas".	<b>CHARME</b> Un compagnon plus lourd du "Haut".
			Troisième Famille	<b>TAU</b> Un compagnon encore plus lourd que le Muon.	<b>NEUTRINO TAU</b> Propriétés similaires à celles du Neutrino électron.	<b>BEAUTÉ</b> Un compagnon encore plus lourd du "Bas".
	<b>BOSONS VECTEURS</b> Particules fondamentales qui assurent la transmission des forces de la nature.					
	<b>PHOTON</b> Grain élémentaire de la lumière porteur de la force électromagnétique.	<b>GLUON</b> Porteur de la force "forte" entre Quarks.	<b>BOSONS INTERMÉDIAIRES : W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> et Z<sup>0</sup></b> Porteurs de la force "faible", responsables de certaines formes de désintégrations radioactives.			
	<b>BOSON DE HIGGS ?</b> Hypothétique	Responsable de la "brisure de symétrie électro-faible"		<b>GRAVITON ?</b> Hypothétique		

Daniel BONNERUE - CEADSM/DAPNA N°121 1992 (MJJ sept. 2005)

Les rayons cosmiques nous offrent la possibilité de pouvoir en observer certaines. Ces rayons sont en fait majoritairement des protons de très hautes énergies, ayant une vitesse proche de celle de la lumière et provenant des étoiles. Ces protons en heurtant l'atmosphère terrestre forment ensuite des gerbes de particules secondaires qui peuvent se diriger vers la surface de la terre.

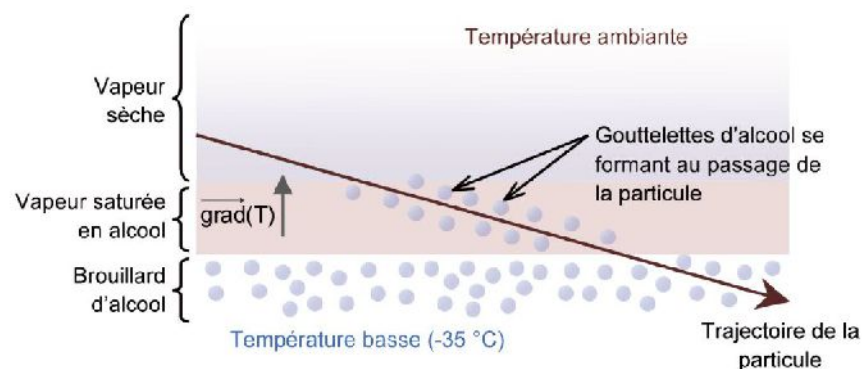


*Description du phénomène de cascade atmosphérique qui se produit lors de l'interaction d'un rayon cosmique avec l'atmosphère*

La chambre à brouillard ou chambre de Wilson (du nom de son inventeur) est un dispositif permettant de détecter des particules issues de ces rayons cosmiques ou encore provenant de la radioactivité environnante. On peut en détecter trois sortes : les particules alphas, qui sont des noyaux d'hélium, les particules beta moins, qui sont des électrons, et enfin les muons (leurs trajectoires étant différentes il est facile de les identifier).

Pour cela on impose un gradient de température à une vapeur d'alcool. De cette manière on obtient trois zones : une zone de vapeur sèche d'alcool, un brouillard de fines gouttelettes d'alcool et une vapeur saturée en alcool. Cette dernière constitue un état méta stable de la matière.

Lorsqu'une particule chargée traverse cette zone, elle provoque la liquéfaction de la vapeur saturée. On voit alors apparaître de fines gouttelettes le long de la trajectoire de la particule ce qui nous permet de visualiser celle-ci. En outre selon le type de trajectoire on peut ensuite déterminer la nature de la particule. Ainsi les particules alphas ont des trajectoires très courtes et fines, les muons des trajectoires fines et longues et enfin les particules beta moins des trajectoires longues, imprévisibles avec de brusques changements de direction.



Ce système utilise un gradient de température pour créer la zone métastable mais il existe une autre méthode pour obtenir celle-ci : une brusque chute de pression dans la chambre. C'était d'ailleurs le procédé originel utilisé par Wilson en 1912. Nous l'avons mis en application pour notre tout premier essai de chambre avec laquelle nous réussissions à obtenir un brouillard. Cependant il était trop bref pour nous permettre d'observer des trajectoires.



*Chambre utilisant un système de dépressurisation*

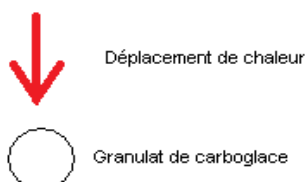
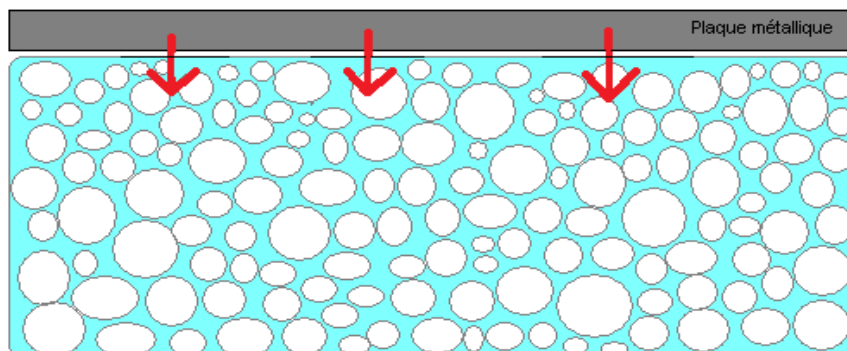
## II - Un premier prototype ; la chambre à brouillard utilisant la carboglace

### 1 - Principe



*Granulats de carboglace*

La carboglace, autrement appelée glace sèche ou neige carbonique, est issue de la solidification du dioxyde de carbone à l'état liquide. Elle possède une température d'environ  $-80^{\circ}\text{C}$  ce qui explique l'efficacité de son utilisation dans les systèmes de refroidissement et donc l'orientation de notre choix vers ce matériau.



*Système de refroidissement utilisant de la carboglace*



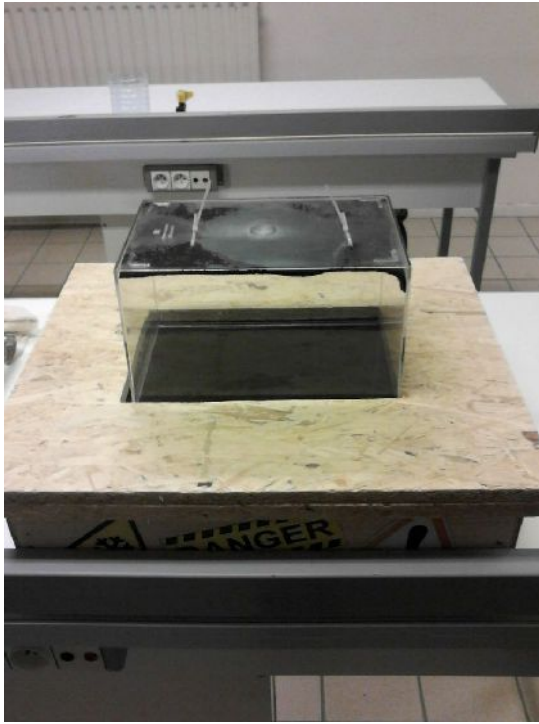
## 2 - Expériences, protocoles

Il nous fallait un espace expérimental clos mais également transparent pour nous permettre de voir la trace laissée par les particules. Nous avons donc décidé d'utiliser un aquarium en plastique comme espace expérimental posé sur une plaque métallique. Pour obtenir le brouillard nécessaire à l'expérience, nous avons attaché une bande de feutrine imbibée d'alcool isopropylique. Afin de créer le gradient de température, nous avons placé en dessous de l'aquarium du dioxyde de carbone à l'état solide aussi appelé carboglace à  $-80^{\circ}\text{C}$ . Nous avons commandé 10 kg de carboglace que nous avons reçus sous forme de petits bâtonnets cylindriques de 5 cm de long sur 2 de large.

La carboglace est contenue dans un bac fabriqué artisanalement avec des plaques de bois. Le choix du bois pour la construction du bac n'est pas anodin. En effet, le bois est un bon isolant et permet donc de conserver au maximum le froid de la carboglace. De même pour la plaque métallique, les métaux sont de très bons conducteurs. Cela nous a donc permis de diffuser le plus possible le froid de la carboglace dans l'espace expérimental / l'aquarium. Nous avons optimisé le contact entre la carboglace et la plaque métallique en remplissant le bac la contenant "à ras-bord" et en saupoudrant dessous de la carboglace pilée. Pour réaliser le gradient de température, nous avons placé au dessus de l'aquarium un récipient d'eau chaude de 40 à  $50^{\circ}\text{C}$ .

## 3 - Analyse / discussions : des résultats satisfaisants mais des problèmes à résoudre

Dans un premier temps, nous avons obtenu des résultats mitigés. Nous avons en effet obtenu un brouillard ce qui était déjà une réussite, mais nous n'apercevions pas de traces de particules. Après plusieurs essais, nous réussissions parfois à obtenir quelques traces de particules au bout d'une demi-heure mais sans réel succès. Nous avons néanmoins compris que l'éclairage le plus propice pour la distinction des traces est un éclairage en lumière blanche rasante dans un environnement sombre ainsi que pour faire fonctionner correctement la chambre, nous devons nettoyer l'aquarium. En effet, les poussières empêchent la zone censée être dans un état métastable de se créer.



*Prototype de chambre à brouillard  
utilisant la carboglace*

Nous avons ensuite obtenu des résultats très concluants. Nous réussissions à obtenir des traces de trajectoires très significatives. Nous nous sommes appropriés le protocole et nous arrivons maintenant à faire fonctionner la chambre très rapidement.



*Trajectoire de Muon, facilement reconnaissable car fine et étendue,  
visualisée à l'aide de la chambre à brouillard*

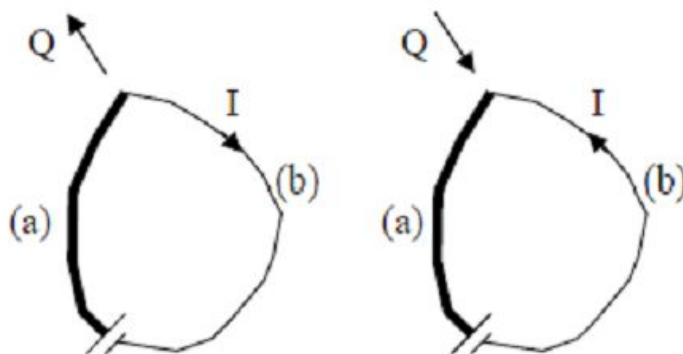
Cependant l'utilisation de la carboglace présente certains inconvénients. En l'effet l'approvisionnement se révèle complexe, il est à prévoir à l'avance ce qui a parfois causé quelques problèmes lors de la réalisation de nos expériences. De plus son coût est relativement important ceci étant amplifié par le fait que nous souhaitons utiliser notre dispositif de manière régulière. En outre la conservation de ce matériau est difficile sachant que sa température est d'environ  $-80^{\circ}\text{C}$  et que les congélateurs dans lesquels nous l'entreposons ont une capacité maximale de  $-25^{\circ}\text{C}$ . Ainsi nous ne pouvons la conserver que sur une durée limitée à trois jours.

### III - La solution apportée par l'effet Peltier

Afin de surmonter les problèmes de la carboglace nous avons décidé d'utiliser des cellules à effet Peltier comme moyen de refroidissement. Elles seraient donc moins chères, et plus pratiques que la carboglace en cas de réussite.

#### 1 - Définition et principe

L'effet Peltier, un des effets thermoélectriques avec l'effet Seebeck et l'effet Thomson, est un phénomène physique de transfert thermique en présence d'un courant électrique. Il se produit dans des matériaux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions (contacts). L'une des jonctions se refroidit alors pendant que l'autre se réchauffe.



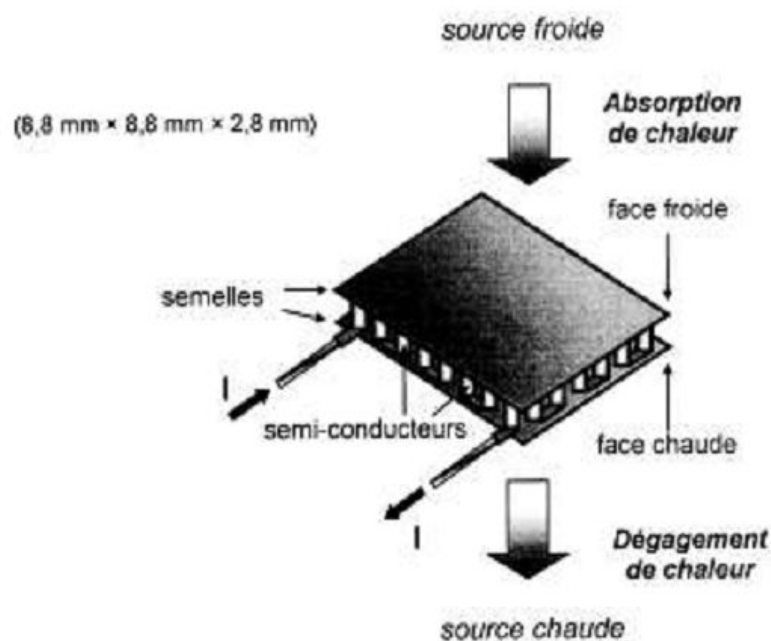
*Représentation de l'effet Peltier*

Lorsqu'un courant électrique traverse la jonction entre les conducteurs (a) et (b) à température constante, il y a une absorption ou un dégagement de chaleur en ce point (voir figure ci dessus). Le débit de chaleur,  $Q/t$ , produit ou absorbé (suivant le sens du courant) est proportionnel à l'intensité  $I$  qui traverse la jonction :

$$\frac{Q}{t} = \Pi_{ab} \cdot I$$

$\Pi_{ab}$  est le coefficient thermoélectrique peltier

Nous avons pensé que cet effet pourrait résoudre les problèmes relatifs à la carboglace afin de réaliser une chambre à brouillard réutilisable sur le long terme. Ainsi nous avons décidé d'utiliser des cellules à effet Peltier dans notre nouveau prototype.



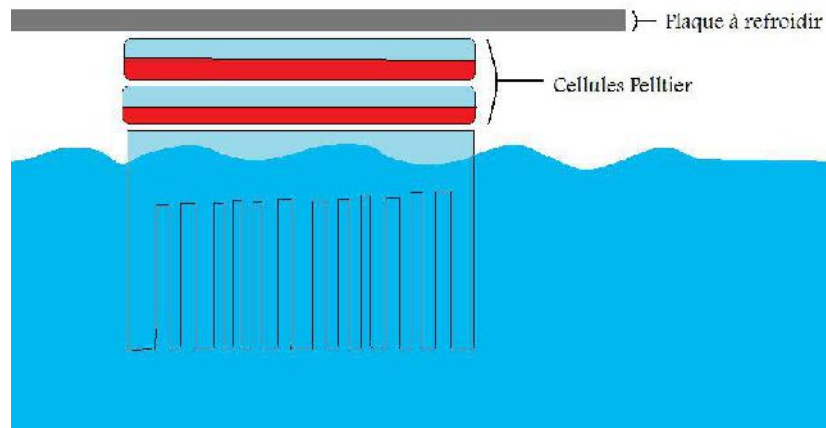
Fonctionnement d'une cellule à effet Peltier

Ces cellules fonctionnent par le déplacement de chaleur induit par un courant électrique précédemment évoqué. Ainsi dès lors qu'un courant électrique continu circule dans le montage, il apparaît une « face froide » qui absorbe de la chaleur et une « face chaude » qui dégage de la chaleur. La cellule à effet Peltier est donc une pompe à

chaleur qui prend de l'énergie thermique à une source froide pour la restituer à une source chaude. Aucun fluide réfrigérant ne circule dans la cellule, il est remplacé par le courant électrique et ce sont les électrons qui jouent le rôle du fluide frigorigène. Selon l'intensité du courant électrique, on peut de ce fait obtenir un transfert thermique plus ou moins important.

## 2 - Expériences, protocoles et résultats

### A) Classe de première : premier essai de chambre à brouillard utilisant l'effet Peltier



*Système de refroidissement utilisant des cellules à effet Peltier*

Nous avons dans notre dispositif initial utilisé cinq paires de cellules superposées (voir schéma ci-dessus). La première est contre la plaque, afin de la refroidir. La seconde va évacuer la chaleur dégagée par la première cellule. La chaleur de la deuxième cellule va être dégagée par un radiateur qui est refroidi par un circuit d'eau.

Pour alimenter les cellules, des alimentations d'ordinateurs ont été utilisées. Chaque cellule a été d'abord alimentée avec du 12V puis nous avons remarqué qu'une cellule alimentée par du 5V sur une cellule alimentée par du 12V provoquait un refroidissement plus important. Afin d'alimenter cinq cellules à 5V il nous a fallu une alimentation d'ordinateur. Pour les cinq cellules alimentées par du 12V, il nous a fallu deux alimentations d'ordinateur.

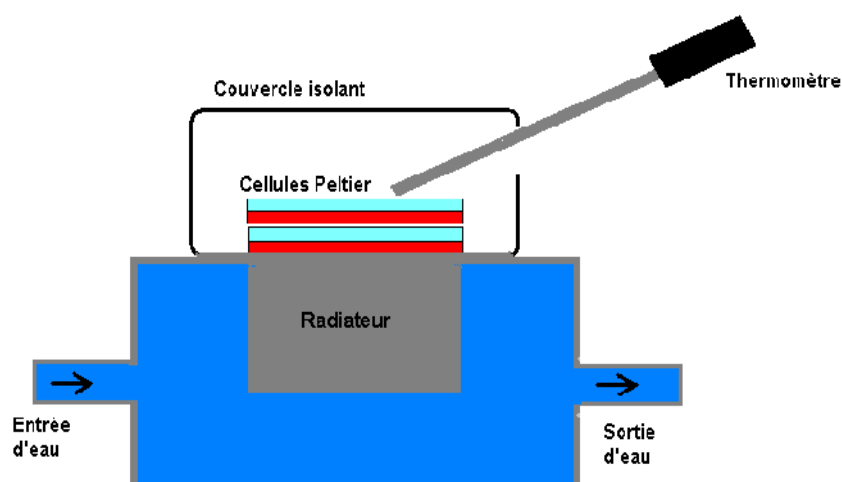
Une température aux alentours de  $-10^{\circ}\text{C}$  a été obtenue sur la plaque. Ce dispositif nous permet d'obtenir un léger brouillard mais pas encore de trajectoires de particules. Il devait donc y avoir certains dysfonctionnements dans celui-ci qu'il convenait d'identifier.

## B) Classe de terminale : le perfectionnement de la technique

L'année commença par une réflexion sur les problèmes précédemment évoqués afin d'apporter des solutions hypothétiques à ces dysfonctionnements. Plusieurs hypothèses ont alors été émises.

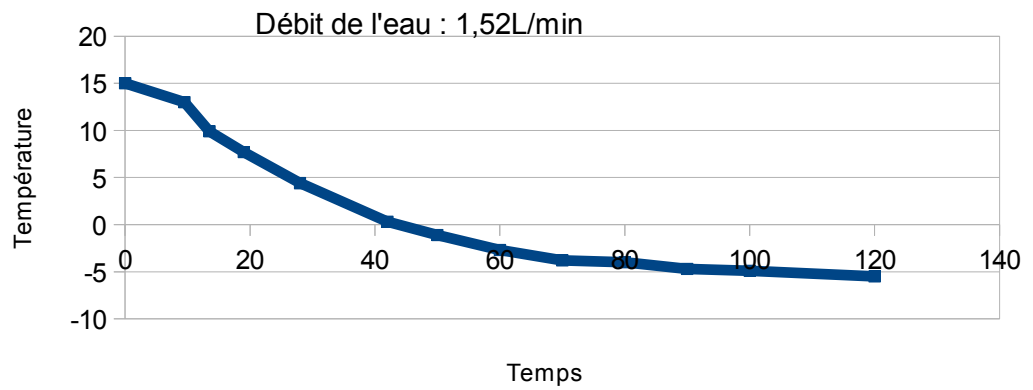
### L'action du débit d'eau

Nous avons de ce fait commencé par réaliser une expérience pour vérifier l'importance du débit d'eau dans notre système de refroidissement. Celle-ci est présentée dans le schéma ci-dessous :



Temps	0	9,5	13,5	19	28	42	50	60	70	80	90	100	120
Température	15	13	9,9	7,7	4,4	0,3	-1,1	-2,7	-3,8	-4	-4,7	-4,9	-5,5

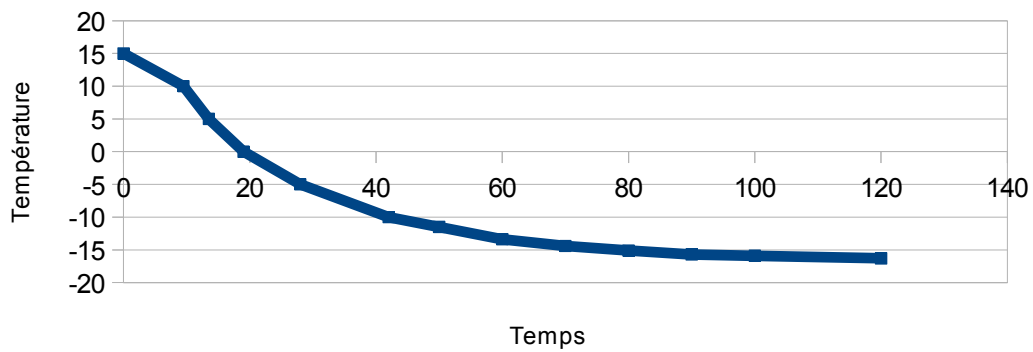
Température de la face froide de la cellule supérieure en fonction du temps



Temps	0	9,5	13,5	19	28	42	50	60	70	80	90	100	120
Température	15	10	5	0	-5	-10	-11,5	-13,4	-14,4	-15,1	-15,7	-15,9	-16,3

Température de la face froide de la cellule supérieure en fonction du temps

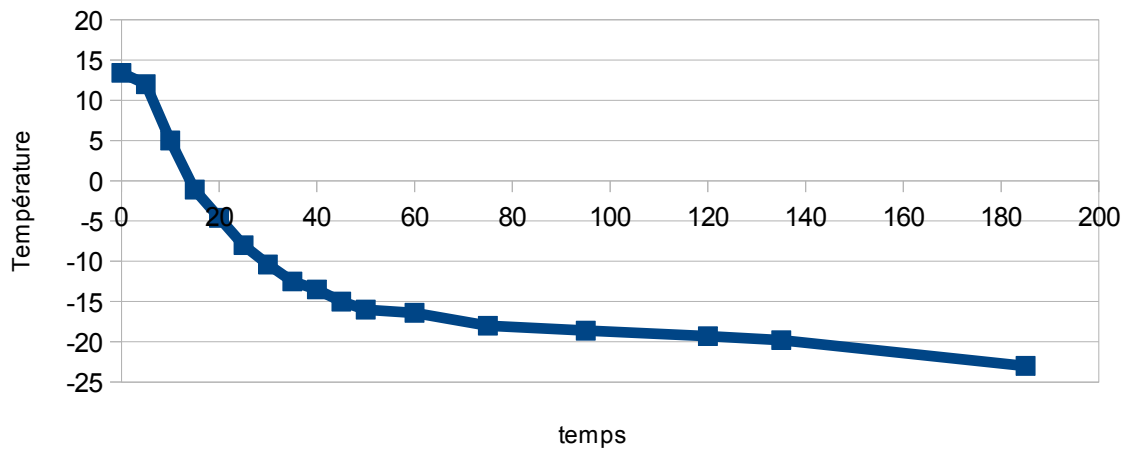
Débit de l'eau : 1,8L/min



Temps	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	95	120	135	185
Température	13,4	12	5	-1,1	-4,6	-8	-10,4	-12,5	-13,5	-15	-16	-16,4	-18	-18,6	-19,3	-19,8	-23

### Température de la face froide de la cellule supérieure en fonction du temps

Débit d'eau 4,7L/min

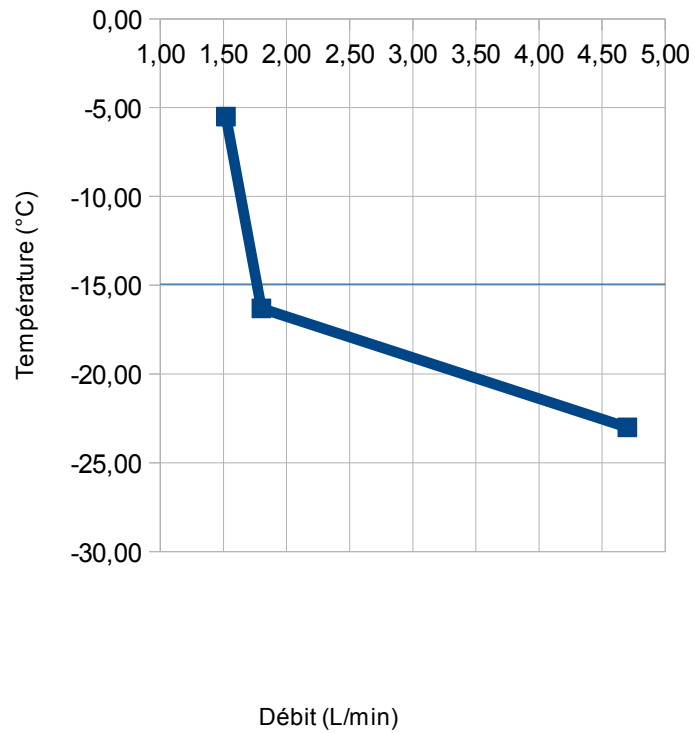


Pour mettre en forme nos données nous avons ensuite réalisé un graphique représentant la température obtenue sur la face froide de la cellule à effet Peltier supérieure en fonction du débit d'eau.

Ces résultats semblent confirmer notre hypothèse quant à l'importance du débit de l'eau dans le système de refroidissement. Nous atteignons en effet avec un couple de cellules et un débit relativement important une température dépassant les  $-20^{\circ}\text{C}$  et on peut remarquer que lorsque nous diminuons le débit la température minimale atteinte est moins importante. De plus, l'importance de l'isolation des cellules est avérée car lorsque nous ne les recouvrons pas à l'aide d'un couvercle, les résultats obtenus n'étaient pas aussi concluants que dans le cas contraire.



Température de la face froide de la cellule supérieure en fonction du débit d'eau



Débit d'eau en L/min	Température minimale en C°
1,52	-5,50
1,80	-16,30

Cependant nous avons omis un point important : l'action de l'intensité du courant électrique qui circule dans nos modules Peltier. Nous avons ainsi cherché à vérifier la relation  $Q/t = \Pi \times I$  évoquée dans la partie III-1). Pour cela d'autres expériences ont été réalisées que nous expliciterons par la suite.

### L'action de l'intensité

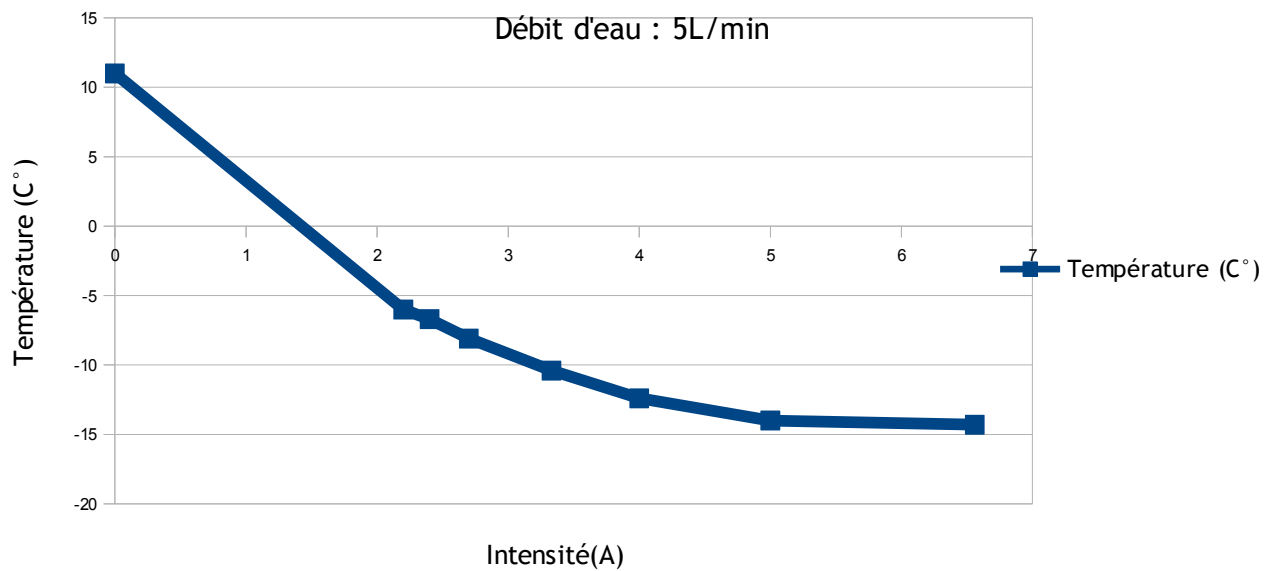
Pour notre expérience, il nous fallait trouver un moyen de régler l'intensité du courant circulant dans notre cellule test. Aussi, nous avons pensé à utiliser un rhéostat (appareil permettant de régler l'intensité du courant circulant dans un circuit constitué d'une résistance variable dimensionnée de manière à supporter l'intensité maximale du courant devant la traverser). Le protocole est le même que celui réalisé pour l'expérience concernant l'action du débit d'eau à quelques différences près. En effet une seule cellule a été utilisée ici, des multimètres ont été intégrés au circuit afin de mesurer intensité et tension et enfin un rhéostat a été ajouté. La capacité de l'alimentation utilisée est de 12V, 10A.



*Rhéostat permettant de régler l'intensité du courant électrique circulant dans un circuit*

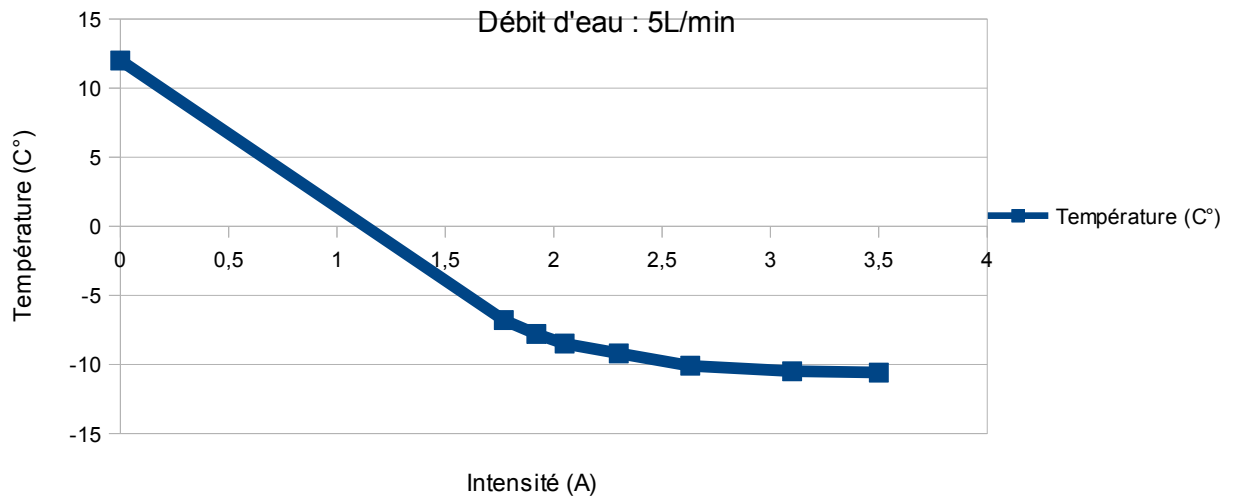
Nous avons réitéré l'expérience avec chaque type de cellule Peltier en notre possession (TECI-12710, TECI-12706 et TECI-12709) afin de déterminer leur position dans notre dispositif final. Voici nos résultats :

Température obtenue en fonction de l'intensité avec une cellule Peltier de modèle TECI-12710



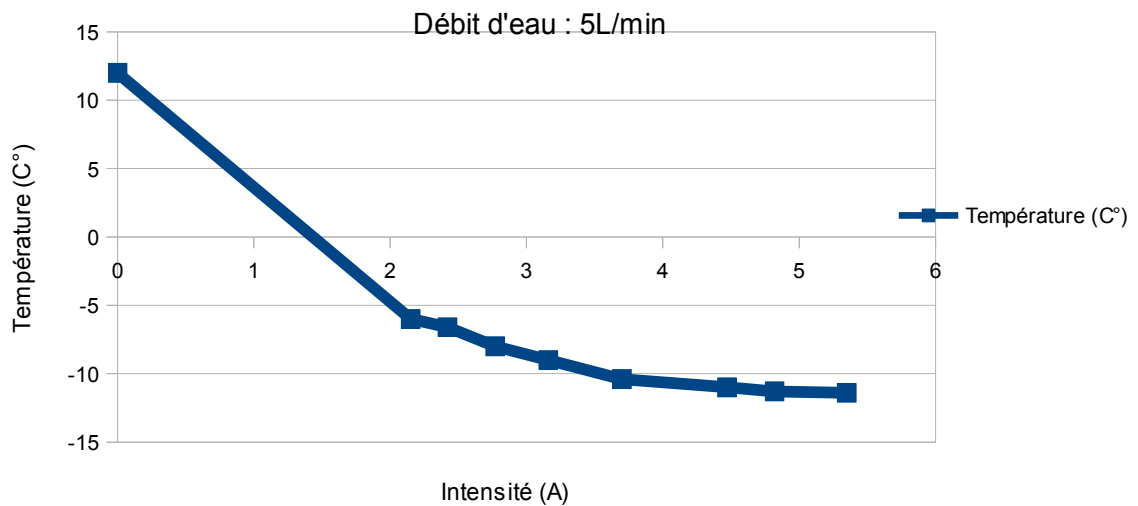
Intensité (A)	0	2,2	2,4	2,7	3,33	4	5	6,56
Température (C°)	11	-6	-6,7	-8,1	-10,4	-12,4	-14	-14,3

Température obtenue en fonction de l'intensité avec une cellule Peltier de modèle TECI-12706



Intensité (A)	0	1,77	1,92	2,05	2,3	2,63	3,1	3,5
Température (C°)	12	-6,8	-7,8	-8,5	-9,2	-10,1	-10,5	-10,6

Température obtenue en fonction de l'intensité avec une cellule Peltier de modèle TECI-12709



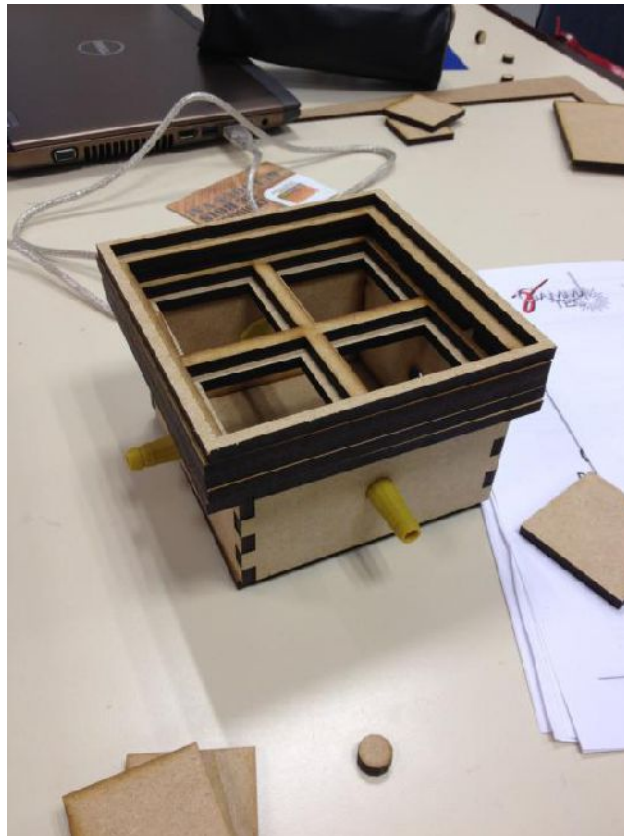
Intensité (A)	0	2,15	2,42	2,77	3,16	3,7	4,47	4,82	5,35
Température (C°)	12	-6	-6,6	-8	-9	-10,4	-11	-11,3	-11,4

Ces résultats semblent nous montrer que plus l'intensité du courant électrique circulant dans notre cellule (quel qu'en soit le modèle) est importante plus la température minimale atteinte par celle-ci l'est aussi (accroissement du transfert thermique). Cependant on peut constater que chaque courbe tend vers une valeur minimale limite relative à la capacité du module Peltier. L'objectif désormais est de réaliser cette expérience avec un couple de cellules.

### 3 - Analyse et discussions

Nous avons donc pu constater que les cellules Peltier peuvent représenter un moyen de substitution à la carboglace. Il a été nécessaire de faire quelques tests avec les cellules afin d'exploiter au mieux leur capacité. En dehors de ça, de nouveaux tests devront être effectués, car il est possible que le dispositif ne soit pas encore optimal (eau servant à refroidir les radiateurs = 15°C). En effet, on peut supposer par exemple qu'en abaissant encore la température de l'eau, la température des cellules Peltier diminuera un peu plus.

Au vu des expériences que nous avons réalisées, nous avons pu constater l'importance du débit d'eau et de l'intensité du courant électrique dans le système de refroidissement de notre chambre. Ces résultats vont ensuite être exploités dans la réalisation de notre seconde version de chambre à brouillard utilisant les cellules à effet Peltier. Le Plan 3D de celle-ci a déjà été dessiné, et a été envoyé au FABLAB avec qui nous sommes en partenariat et qui a effectué pour nous la découpe des pièces.



*Cuve de notre chambre à brouillard utilisant les cellules à effet Peltier, les pièces ont été réalisées à l'imprimante laser et 3D*

## Conclusion

Pour conclure, ce mémoire présente les recherches et les expériences menées en groupe depuis 2 ans. Nous avons réussi à répondre en parti à notre problématique en permettant à un grand nombre de personnes d'observer des particules cosmiques qui nous parviennent sur terre même si la chambre n'est pas encore prête à être utilisée de façon durable.

Ainsi, nous garderons en mémoire les commentaires tel quel « Bravo, j'ai pu enfin voir ce dont on m'a parlé pendant longtemps à l'école mais qui restait flou. Quand on parle de particules cosmiques c'est très théorique et pour la première fois j'ai pu mettre une image sur des mots ». Nous sommes fiers que notre projet ait pu éclaircir la vision

d'autres personnes et nous espérons qu'il pourra attiser la curiosité scientifique des générations à venir dans notre lycée.

Hormis le fait de travailler sur de la physique, nous avons surtout appris à travailler tous ensemble, à réfléchir à des solutions pour résoudre nos problèmes, à faire des recherches et à mettre en place des protocoles d'expériences. L'important était surtout de travailler sous une forme moins scolaire et moins guidée afin de nous faire acquérir une certaine responsabilité.

Même si nous n'avons pas encore pu voir de traces de particules avec la chambre à effet Peltier, nous avons pu apporter certaines réponses à nos problèmes qui seront mises en application par la suite.

Ainsi, nous espérons que la chambre que nous sommes en train de réaliser avec le FABLAB sera capable de fonctionner aussi bien que notre chambre à brouillard utilisant la carboglace.

## Remerciements

GANIL

CRISMAT

Cédric VANDEN DRIESSCHE et Antoine MANIER

FABLAB

M.THOMAS

M.LOPEZ

Relais d'sciences

Ecolyscience

Exposition ZOOM

## Sources

### Rayons cosmiques - La fin d'une énigme qui dure depuis plus d'un siècle

Grousseau Mathieu

*Sciences et Vie* - Juin 2013 n° 1149

p. 94 - 104

A Canteen Cloud Chamber: Scientific American

<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=a-can...>

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=6721>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_Peltier](http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Peltier)

### Passeport pour les deux infinis - vers l'infiniment petit

DUNOD

ISBN 978-2-10-054977-1

<http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GTE/jdu/wupload/File/conduction.pdf>

*Union des professeurs de Physique et de Chimie*

Comment réaliser une chambre à brouillard ?



*Visualiser des particules créées par des rayons cosmiques*

Par **Christian MARIAUD**

Lycée René Descartes - 37000 Tours