

AVEC NOS ÉLÈVES

L'effet Cérenkov dompté au LP2I

Lycée Pilote Innovant International de Jaunay Clan

Jean-Brice Meyer, professeur de physique chimie au LP2I

Elias Vandermeersch, Génaro Olivieri, Alice Tahir, Arnaud Vandehaeck, Thibaut Alleau, Benjamin Bertin, Luc Richard, Samuel Gay-Bellile, Bruno Meunier, Raphaël Beaulieu, Yorick Noël, élèves au LP2I,

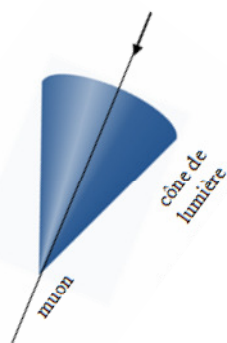
Comme l'année précédente, un groupe de 12 élèves du LP2I s'est investi dans un projet touchant la physique des particules, en s'intéressant tout particulièrement à l'effet Cérenkov.

L'effet Cérenkov

Il s'agit d'un effet durant lequel de la lumière est créée par une particule électriquement chargée en traversant certains milieux matériels transparents. Ce phénomène est comparable au "bang" produit par les avions lorsqu'ils franchissent le mur du son, c'est-à-dire lorsque l'avion se déplace plus vite que les ondes sonores.



Fig.1. Onde de choc supersonique.



En effet, lorsqu'une particule se déplace avec une vitesse inférieure à la célérité des ondes lumineuses, aucune lumière visible n'est créée par le passage de la particule. Mais lorsque celle-ci se déplace plus vite que les ondes lumineuses, un "Bang" lumineux est émis dans un cône, dont l'angle dépend de la vitesse de la particule et du milieu matériel traversé (voir photo ci-dessus).

Mais est-il possible qu'une particule aille plus vite que la lumière ? Oui ! En effet, alors que les ondes lumineuses sont les plus rapides dans le vide ou dans l'air, leur célérité diminue lorsqu'elles traversent d'autres milieux matériels. Il n'en est pas de même pour les muons ; ce sont des particules créées lorsque des rayons cosmiques (principalement des protons venant de l'espace) viennent heurter les molécules de l'atmosphère (figure 2).

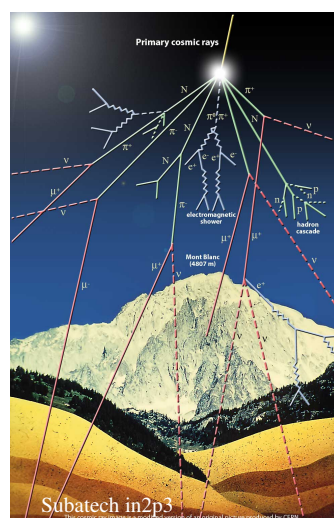


Fig.2. Gerbe de particules.

Ainsi, dans l'eau, le verre, le plexiglas et bien d'autres milieux, les muons auront une vitesse plus importante que la célérité des ondes lumineuses et seront capables de créer de la lumière par effet Cérenkov.

Le Projet

Analogie avec les ondes à la surface de l'eau

En prenant certaines précautions, le "bang" des avions ou la lumière dans l'effet Cérenkov trouvent des analogies dans le sillage laissé par les bateaux à la surface de l'eau. Ainsi, dans un premier temps, pour appréhender ce phénomène complexe, nous avons commencé par étudier les ondes à la surface de l'eau en élaborant une cuve à onde (figure 3).



Fig.3. la cuve à eau.

Voici ainsi ci-dessous schématisé la figure obtenue à la surface de l'eau lorsque celle-ci est perturbée par une source qui évolue au dessus de l'eau, en laissant tomber périodiquement un petit objet dans l'eau.

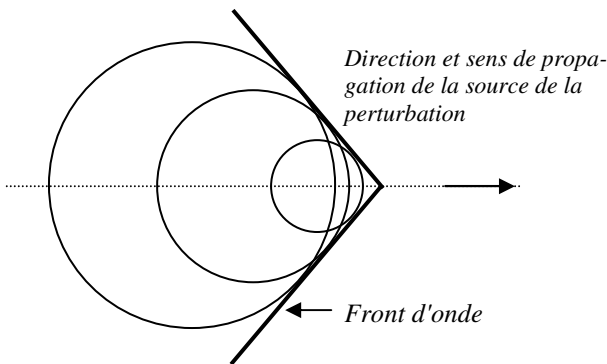
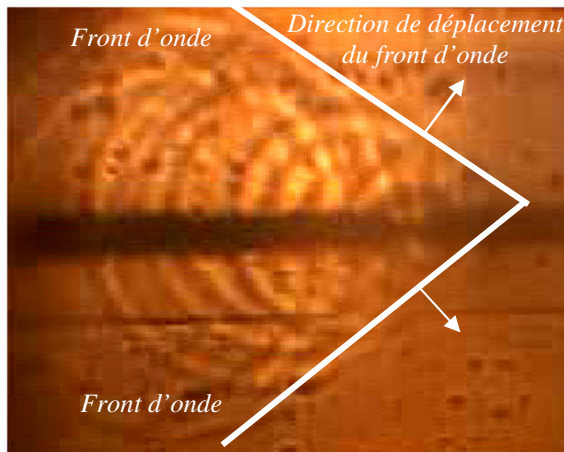


Fig.4. Ondes à la surface de l'eau : les points noirs représentent les lieux successifs perturbés par la source de la perturbation.

La photo ci-dessus montre que les fronts d'ondes sont des lignes sur lesquelles les différentes ondes interfèrent constructivement.

Par analogie, on peut ainsi dire que la surface du cône de lumière Cérenkov représente les zones d'interférences constructives des ondelettes créées le long de la trajectoire du muon.

L'étude expérimentale des ondes à la surface de l'eau nous a permis également de mettre en évidence expérimentalement la relation entre l'ouverture du cône et la vitesse de la particule.

Mise en évidence de l'effet Cérenkov dans le plexiglas

Une fois le phénomène compris, nous avons voulu observer expérimentalement l'effet Cérenkov. Nous avons pour cela confectionné un détecteur comprenant une partie optique entièrement réalisée par nos soins, ainsi qu'une partie électronique empruntée à un détecteur de muons, le Cosmodétecteur, réalisé par le CPPM (Centre de Physique des Particules de Marseille), sous la direction de José Busto, suite à l'appel à projet lancé par Sciences à l'École.

Quel dispositif utiliser pour détecter l'effet Cérenkov ?

En disposant un photomultiplicateur au bout d'un bâton de plexiglas, il est possible de détecter la lumière créée lors du passage du muon dans le plexiglas. Or en provenant de l'atmosphère, les muons ont majoritairement une direction verticale. Le tube de plexiglas jouant un rôle de guide d'onde lumineuse, la lumière va en partie être acheminée jusqu'à l'extrémité basse du bâton de plexiglas. Pour cela, nous avons entouré le bâton de papier d'aluminium.

Ainsi, si on oriente le dispositif avec le photomultiplicateur en position basse, on devrait compter davantage d'impulsions que lorsque celui-ci est en position haute (figures 5a et 5b).

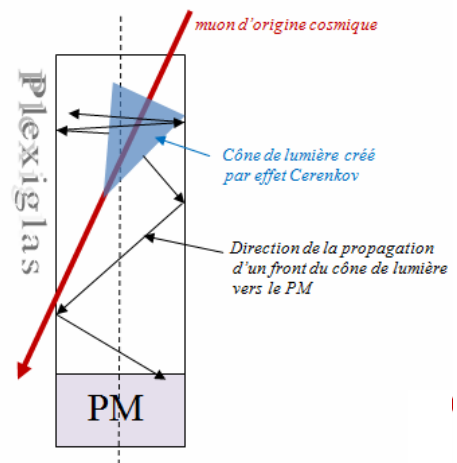


Fig.5a. Le photomultiplicateur en position basse.

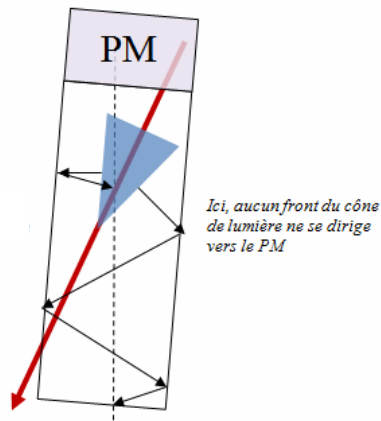


Fig.5b. Le photomultiplicateur en position haute.

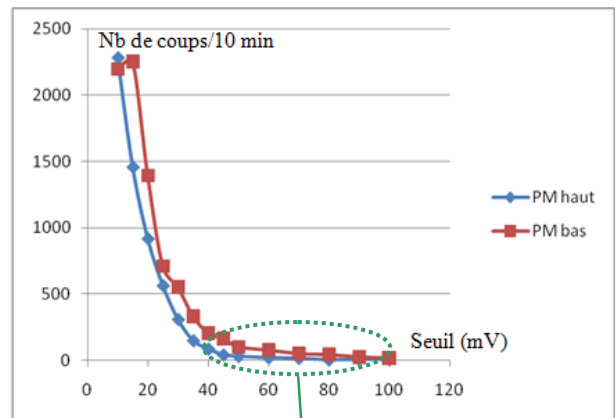
Cela dit, il reste un détail à considérer : les photomultiplicateurs génèrent un bruit de fond d'origine thermique, dans lequel se noient complètement les impulsions engendrées par les muons. Pour pallier ce problème, la carte électronique permet d'ajuster un seuil (en mV) qui va permettre de filtrer les impulsions électriques en fonction de leurs amplitudes : si une impulsion est supérieure au seuil fixé, alors elle participera au décompte des coups comptés. Sinon, on traitera cette impulsion comme un bruit de fond.

Mais nous ne connaissons pas l'amplitude des impulsions laissées par le bruit de fond. Et pour cette raison, nous avons choisi de comparer le nombre de coups comptés avec le photomultiplicateur en position basse et le photomultiplicateur en position haute, en fonction du seuil.

Ensemble des mesures

Seuil (mV)	Nb de coups en 10 min PM haut	Nb de coups en 10 min PM bas
10	2284	2196
15	1458	2255
20	916	1392
25	562	708
30	307	550
35	147	332
40	84	204
45	39	164
50	28	100
60	17	75
70	13	49
80	1	41
90	4	24
100	4	15

Fig.6. Tableau des mesures.



Agrandissement

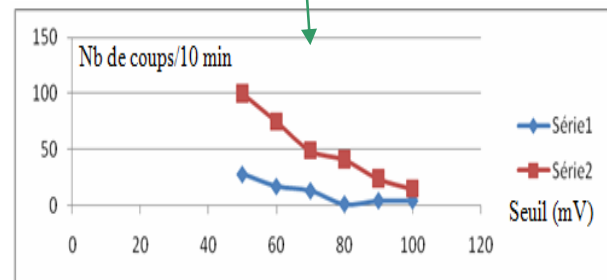


Fig.7. Les courbes.

Une analyse des résultats montre comme nous l'attendions que le nombre d'impulsions comptées est plus important lorsque le photomultiplicateur est en bas, quel que soit le seuil, mis à part à 10 mV où il a dû se passer quelque chose qui a perturbé nos mesures, comme par exemple des variations de tension dans le réseau électrique, qui aura provoqué davantage de parasites dans le photomultiplicateur. Une étude plus détaillée de la courbe montre que la différence du nombre de coups comptés est davantage visible pour des seuils allant de 45 à 60 mV. En dessous, le bruit de fond commence à noyer cet effet, et pour des seuils plus grands, les nombres de coups comptés ne permettent pas de réaliser de réelles statistiques.

Détermination de l'angle du cône de lumière Cérenkov dans le plexiglas

Suite à cette première étude, nous avons voulu déterminer expérimentalement l'angle du cône de lumière Cérenkov en utilisant l'idée suivante : si on connaît la direction d'un muon, il est possible connaître l'angle β entre l'axe du bâton de plexiglas et la direction du muon. On peut alors tourner le bâton et ainsi faire varier l'angle β de sorte que le front d'onde du cône de lumière arrive perpendiculairement à la face du bâton. Le front

d'onde ne sera alors plus réfléchi vers le photomultiplicateur. Pour des angles inférieurs à cet angle limite, on s'attend à ce que le photomultiplicateur ne reçoive plus de lumière Cerenkov. Cet angle limite β_{lim} (voir schéma ci-contre) sera ainsi relié au demi-angle δ du cône lumineux.

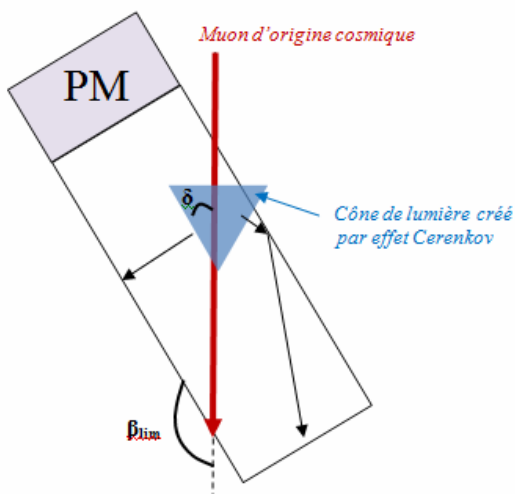


Fig.8. Angle limite de détection des muons.

Mais cette méthode nécessite alors de connaître précisément la direction du muon incident, ce qui n'est pas le cas. Alors nous avons eu l'idée de ne travailler qu'avec les muons verticaux. Pour cela, nous avons disposé le bâton de plexiglas entre deux plaques de scintillateur de faibles surfaces, reliées chacune à un photomultiplicateur. Ces deux plaques, fixes, ont été disposées de sorte que leurs normales soient alignées et soient selon une direction verticale. Il ne restait plus alors qu'à compter les coups qui donnaient des impulsions en coïncidence par minute dans les trois éléments traversés. Les résultats sont présentés dans le graphique ci-dessous.

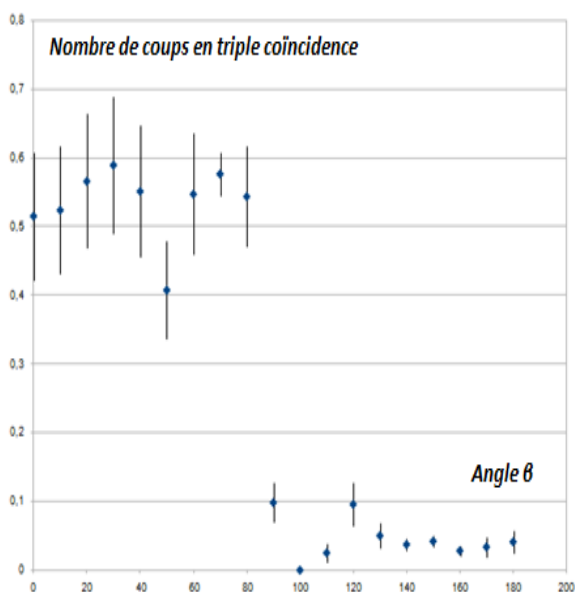


Fig.9. Les courbes

Ces résultats ont nécessité une correction d'ordre probabiliste, liée à la géométrie du détecteur, c'est-à-dire l'acceptance du détecteur. Comme nous le prévoyions, il y a bien une chute sévère du nombre de coups comptés. Par contre, cette chute se produit à un angle β trop faible par rapport à celui attendu. Certains paramètres de notre expérience méritent donc d'être ajustés car pour le moment, il est fort probable que nous ne comptons pas certaines impulsions jugées trop peu intenses pour être associées à la traversée d'un muon dans le plexiglas. C'est le travail que nous allons réaliser d'ici la fin de l'année scolaire.

Présentation du projet aux Olympiades de physique 2011

Tout leur travail a été présenté devant un jury lors des qualifications inter académiques des Olympiades de physique, à Toulouse, le 8 décembre 2010, ce qui leur a ouvert les portes vers la finale qui s'est déroulée le 29 et le 30 janvier 2011, à Paris, au Palais de la Découverte.



De gauche à droite : Benjamin Bertin, Génaro Olivieri, Alice Tahir, Yorick Noel, Elias Vandermeersch

Le projet, intitulé "Dans le sillage de Cerenkov", a alors été couronné d'un 1^{er} prix, accompagné du commentaire suivant : *Tout est vitesse... En deux ou trois dimensions, vous avez percé le secret des traces laissées par les supersoniques, les canards et les muons.*

Remerciements : Science à l'école (prêt du cosmodétecteur), José Busto (CPPM), Éric Lesquoy (CEA), Gérard Tristam (in2p3).

Voir un texte plus complet à l'adresse :

http://www.odpf.org/antérieures/xviii/gr-20/pdf/memoire_20.pdf