

Bulletin de l'Union des Physiciens

Association de professeurs de Physique et de Chimie

Un P.A.E. scientifique original et spectaculaire :

LA RADIOACTIVITE

VUE PAR LA CHAMBRE A BROUILLARD PERMANENT AUTONOME,
ET A DEFLEXION MAGNETIQUE

par MM. ANSART, BERDYS, HESPEL, LEFEBVRE,
MASCLET, LEGRAND,

Lycée Technique d'Etat E.-Labbé de Douai

et M. WALLON,

I.P.R. Académie de Lille.

I. GENESE DU PROJET.

En 1984, la France célébrait le cinquantième anniversaire de la radioactivité artificielle découverte par les Français I. et F. JOLIOT-CURIE. A cette même époque, l'Education Nationale déployait tous ses efforts en vue de promouvoir la culture scientifique et technique dans les Etablissements secondaires, en particulier par une incitation répétée à la conduite de P.A.E. (Projets d'Actions Educatives).

L'Académie de Lille décidait de s'associer aux diverses manifestations scientifiques commémorant la découverte des radioéléments — ces atomes qui n'existent pas dans la nature mais que le physicien sait produire par une réaction dite de transmutation et qui conduit à des atomes instables, donc radioactifs. Le rayonnement émis, par ces radioéléments artificiels est utilisé dans les domaines du radio-diagnostic (scintigraphie...) et de la radiothérapie (bombe au cobalt...).

Sous l'impulsion de la Commission Académique d'Action Culturelle et de l'Inspection Pédagogique Régionale de Sciences physiques, une dizaine d'établissements scolaires décidaient d'unir leurs efforts en vue de conduire des P.A.E. scientifiques centrées

sur la radioactivité, son histoire, ses acteurs, ses manifestations, son intérêt et ses dangers, sa contribution à la connaissance de la structure de la matière.

Il était décidé au départ que les réalisations émanant de ces P.A.E. seraient exposées au C.R.D.P. de Lille lors de la dernière quinzaine de décembre 1985, époque coïncidant exactement avec le cinquantenaire de la remise du prix Nobel à I. et F. JOLIOT-CURIE (12-12-1935).

II. LA CHAMBRE A BROUILLARD PERMANENT.

1. La chambre de Wilson.

Longtemps considérée comme la plus belle expérience de la Physique, cette chambre de WILSON fut l'outil privilégié des physiciens nucléaires du début de ce siècle.

Rappelons tout d'abord qu'un atome radioactif est, de naissance, instable :

U 235 ; U 238 ; Th 232 ; Ra 226 ; Po 210 ; Co 60
pour ne parler que de quelques-uns des 325 radionucléides naturels.

Un atome instable finit par voir son noyau exploser avec émission d'une particule α (s'il est émetteur α) ou d'une particule β^- (s'il est émetteur β^-) ; dans l'un et l'autre cas, il peut y avoir émission d'un rayonnement γ .

* La particule α (ou hélium) est environ 8 000 fois plus lourde que la particule β^- ; on la note encore :



car elle est chargée positivement, elle est émise à moins de 20 000 km/s ; elle n'est donc pas relativiste mais se révèle très dévastatrice dans les tissus cellulaires qu'elle atteint. Une feuille de papier les arrête, de même qu'une dizaine de centimètres d'air (ce que montrent les chambres à brouillard).

* La particule β^- est un électron ; elle est donc chargée négativement ; sa vitesse peut être quinze fois plus élevée que celle des α , elle est souvent relativiste (vitesse comprise entre 30 000 et 300 000 km/s).

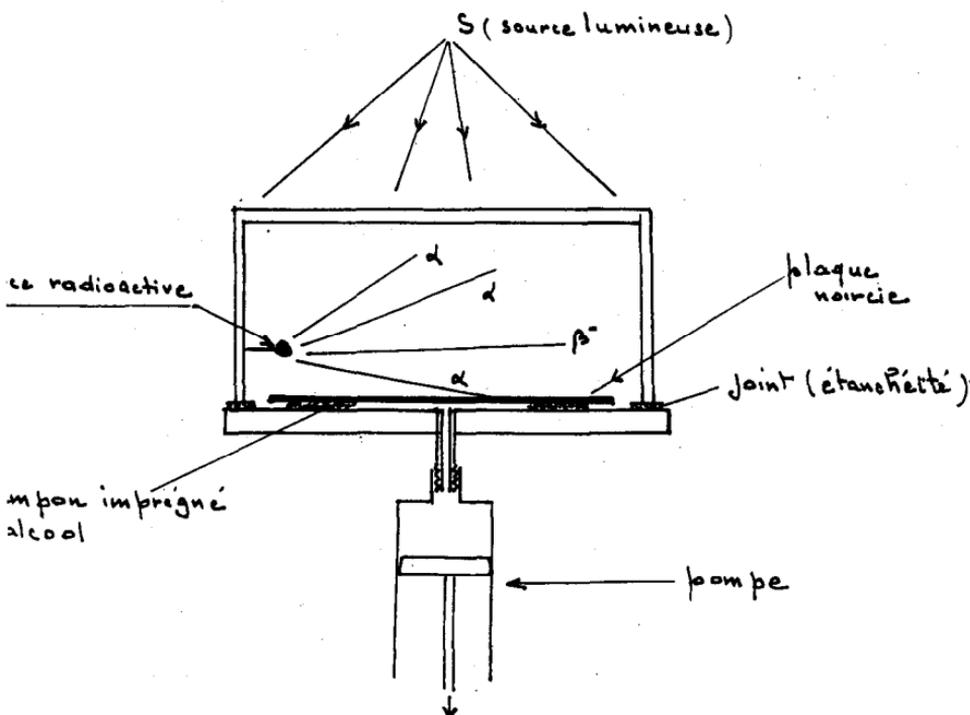
La particule β^- est plus pénétrante que l'hélium et selon sa vitesse, elle peut parcourir plusieurs dixièmes de millimètres d'aluminium et quelques mètres dans l'air atmosphérique (mise en évidence dans les chambres à brouillard).

Le Cobalt 60 est émetteur β^- .

* Le rayonnement γ est constitué par un rayonnement électromagnétique (*lumière invisible*) très énergétique, pouvant, selon son énergie, traverser plusieurs centimètres de plomb, ou tuer des cellules vivantes (le rayonnement γ du Cobalt 60 est réputé dans ce domaine).

LA CHAMBRE DE WILSON (mise au point en Ecosse, en 1897), est une enceinte cylindrique de 10 à 20 cm de diamètre, et de quelques centimètres d'épaisseur. Elle contient un tampon imprégné d'alcool et un fragment de matière radioactive. On fait baisser brusquement la pression de l'air et de la vapeur saturante d'alcool que contient le cylindre, par le biais d'une pompe aspirante, solidaire du cylindre. Le refroidissement des gaz qui s'en suit juste après la détente, crée pendant un dixième de seconde environ un état métastable où la vapeur d'alcool se trouve sursaturante et de fines gouttelettes de brouillard prennent naissance sur le trajet des particules électrisées α et β émises par la source radioactive.

En éclairant la face supérieure, transparente, de la chambre de WILSON, on aperçoit une gerbe fugace de trajectoires α et β , provenant de la source radioactive.



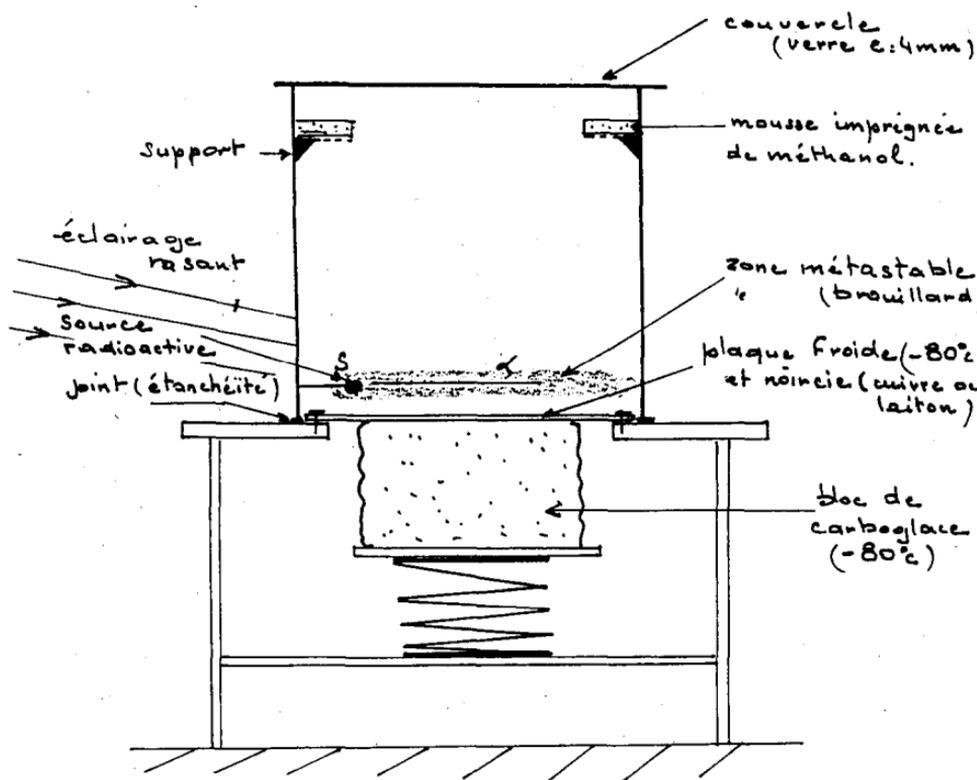
2. La chambre à brouillard permanent.

Elle est très peu connue, même des physiciens, alors qu'elle permet d'observer de façon permanente un spectacle féérique identique à celui de la chambre de WILSON.

Le feu d'artifice auquel elle donne lieu (voir photos 1 et 2), est une des plus merveilleuses manifestations de la matière dans ses aspects granulaires microscopiques et une illustration flagrante de la théorie atomique.

Elle a été imaginée par le physicien allemand LANGSDORFF en 1939.

SON PRINCIPE.



$$e \approx \frac{1}{5}$$

La vapeur saturante d'alcool émanant du tampon imprégné de méthanol diffuse dans la chambre en verre en forme d'aqua-

rium. Arrivée dans les parties inférieures de la chambre où la température décroît vers -80°C , cette vapeur devient sur-saturante et tend à se recondenser partiellement, mais le fait toujours avec un certain retard. Il s'instaure ainsi, juste au-dessus de la plaque froide, une nappe horizontale hypersensible où des particules α et β émises par la source radioactive vont, sur leur passage, favoriser la condensation de l'alcool.

Pour ces raisons, la chambre à brouillard permanent de LANGSDORFF est encore appelée chambre à diffusion ou chambre à gradient de température.

Remarque :

Sur la base du schéma précédent (cf. bibliographie) et à partir du prototype mis au point dans le cadre du P.A.E. du lycée J.-Perrin de Lambersart, la majorité des lycées de l'Académie de Lille a pu s'équiper d'une telle chambre, construite par les Personnels Techniques de Laboratoires, lors de stages C.A.F.A.

3. Les observations.

A) LES PARTICULES α (et éventuellement les protons cosmiques)

laissent une trace épaisse (due à des microgouttelettes d'alcool) qui disparaît en deux ou trois secondes.

La durée du parcours est de quelques *microsecondes* et il est impossible de suivre la particule! Les trajectoires des particules α ne dépassent guère 6 à 8 cm.

Les photos 1 et 2, prises à quelques secondes d'intervalle, représentent l'émission des particules α émises par une source de Radium 226 placée dans la chambre à brouillard fabriquée par le Lycée Technique de Douai.

La source est constituée par une aiguille d'ancien réveil-matin, imprégnée d'un sel de radium capable d'exciter la fluorescence d'une matière auxiliaire, également déposée sur l'aiguille et la rendant lumineuse la nuit.

Le Ra 226 est émetteur α et γ mais donne aussi naissance à quelques radionucléides émetteurs α , β , et γ (famille radioactive). Sa période est de 1 600 ans et l'activité de la source utilisée, à en juger par la photo, atteint quelques centaines de becquerels (ou désintégrations par seconde).

Le feu d'artifice très nourri d'hélium cache ici les électrons.

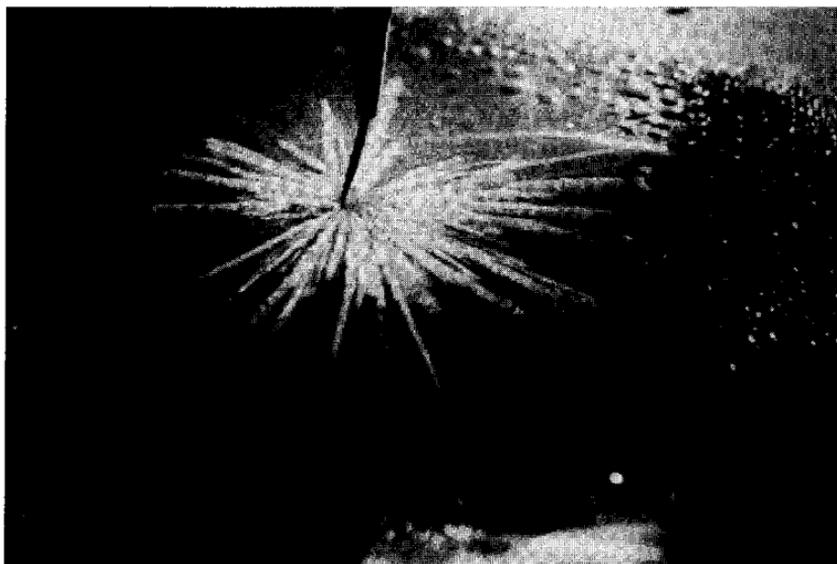


Photo n° 1

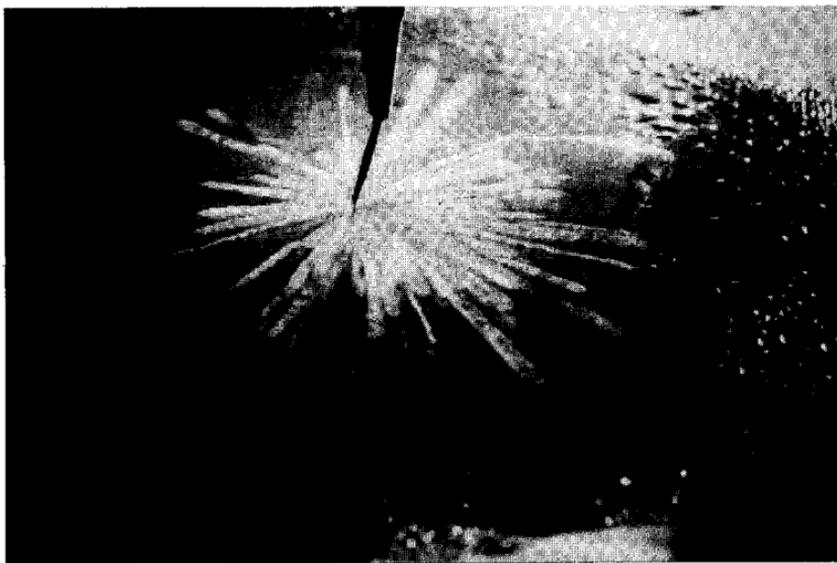


Photo n° 2

B) LES ÉLECTRONS.

Ils laissent une trajectoire beaucoup plus fine, plus longue et sinueuse.

La photo n° 3 montre une trace α très épaisse et de multiples trajectoires fines, pointillées, radiales, dues à des électrons.

La source utilisée est ici un fragment de roche uranifère de la grosseur d'un petit pois. Cette source contient donc les uraniums 235 et 238 et tous leurs produits de filiation (26 nucléides, ou types d'atomes, dont 24 sont radioactifs α , ou β et pour certains γ).



Photo n° 3

N.B. : L'alcool qui se condense sur la plaque froide fait miroir et l'on aperçoit 3 traits pleins lumineux, non radiaux, qui sont les reflets du support de la source radioactive ou des brins de la grille de désionisation qui améliore la sensibilité de la chambre de LANGSDORFF comme celle de WILSON (on applique entre la plaque froide et une grille située dans la chambre, une tension continue de 300 à 500 V afin d'éliminer les ions formés).

III. LA CHAMBRE A BROUILLARD PERMANENT AUTONOME ET A DEFLEXION MAGNETIQUE CONSTRUITE AU L.T.E. E-LABBE DE DOUAI.

1. Idée directrice.

L'extraordinaire spectacle issu d'un aussi modeste dispositif expérimental est cependant conditionné par la possibilité de se procurer un bloc de carbo-glace (on peut aussi travailler avec de la neige carbonique qui est placée dans un Dewar avec de l'alcool et l'on plonge dans ce mélange réfrigérant des doigts plongeurs en cuivre, soudés sur la plaque froide ; 200 g de neige carbonique donnent une heure de spectacle !)

L'idée vint alors de mettre à profit la compétence du Lycée Technique de Douai avec, en particulier, ses sections de « froid et climatisation BT et BTS » afin d'imaginer une machine frigorifique aussi mobile que possible capable de porter la plaque froide à des températures programmables jusqu'à -100°C .

De plus, il fut alors imaginé de soumettre les hélions et électrons à un puissant champ magnétique afin de les dévier selon les lois de LORENTZ. Les sections de Baccalauréat et de Techniciens supérieurs « électrotechnique » furent alors associées au projet en vue d'équiper la chambre à brouillard d'une alimentation continue variable de puissance, connectée sur le secteur et capable de délivrer temporairement dans deux bobines de HELMHOLTZ une intensité pouvant atteindre une quarantaine d'ampères.

Le champ magnétique produit, de l'ordre de 100 mT, est alors en mesure de dévier sensiblement les β^- ou β^+ issus de sources radioactives.

La conception et la réalisation furent le fruit d'un travail commun aux sections de BTS, baccalauréat de Technicien et BEP. Le caractère pointu du projet imposait par ailleurs une collaboration étroite technique avec une entreprise frigorifique locale (Société Interfroid à Cysoing).

L'intervention du LEP de Jeumont et des sections de bobineurs permit de construire deux bobines de 15 kg chacune, de diamètre moyen 30 cm et à 625 spires.

2. Montage du projet.

Le Dossier P.A.E. fut réalisé par les professeurs des classes concernées et le Chef de Travaux, et adressé à l'Inspection Académique du Nord dans les délais impartis.

La Commission de sélection des P.A.E. retenait le projet d'autant que celui-ci était inter-disciplinaire, inter-établissements,

et devait contribuer à une production originale, exportable, valorisant l'enseignement technique et favorisant le rapprochement entreprise/école.

Dans un tel contexte, l'A.N.V.A.R. apportait au projet une contribution matérielle complémentaire.

3. La réalisation du prototype.

La conception du prototype débutait alors à la fin du premier trimestre 1984-1985, sa réalisation et sa mise au point s'achevaient en avril 1985.

La chambre à brouillard permanent et autonome était présentée à la Foire Internationale de Lille en avril 1986, dans le cadre des P.A.E. Scientifiques et Techniques sous l'égide de l'Education Nationale. Elle fonctionnait quinze jours durant sans défaillance, mais cependant sous le regard attentif de ceux qui l'avaient conçue et réalisée : élèves, technicien de l'industrie et professeurs.

Les milliers de visiteurs, y compris les Premier ministre et Ministres qui l'observèrent, firent part de leur émerveillement devant cette manifestation tumultueuse, aléatoire, féérique mais aussi terriblement puissante de l'infiniment petit instable. La radioactivité, dont l'actualité est souvent nourrie et qui reste si méconnue, est ici remarquablement illustrée, incarnée, concrétisée.

Depuis, le prototype de chambre à brouillard a été présenté à l'exposition sur la Radioactivité qui, durant 15 jours, a rassemblé au C.R.D.P. de Lille, plus de 6 000 élèves.

Sélectionné pour le F.I.T. de La Villette, il a aussi été utilisé dans quelques lycées de l'Académie.

A terme, cette chambre à brouillard devrait rejoindre la salle des Sciences et Techniques que la Commission Académique d'Action Culturelle projette d'ouvrir au C.R.D.P. de Lille et servir de support à une animation périodique.

4. La réalisation de la chambre à brouillard.

CARACTÉRISTIQUES :

Dimension $h = 1 \text{ m}$, $l = 0,7 \text{ m}$, $L = 1,3 \text{ m}$,

Masse 120 kg,

Alimentation électrique, 220 V + T,
avec protection différentielle permettant de manipuler sans danger.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE :

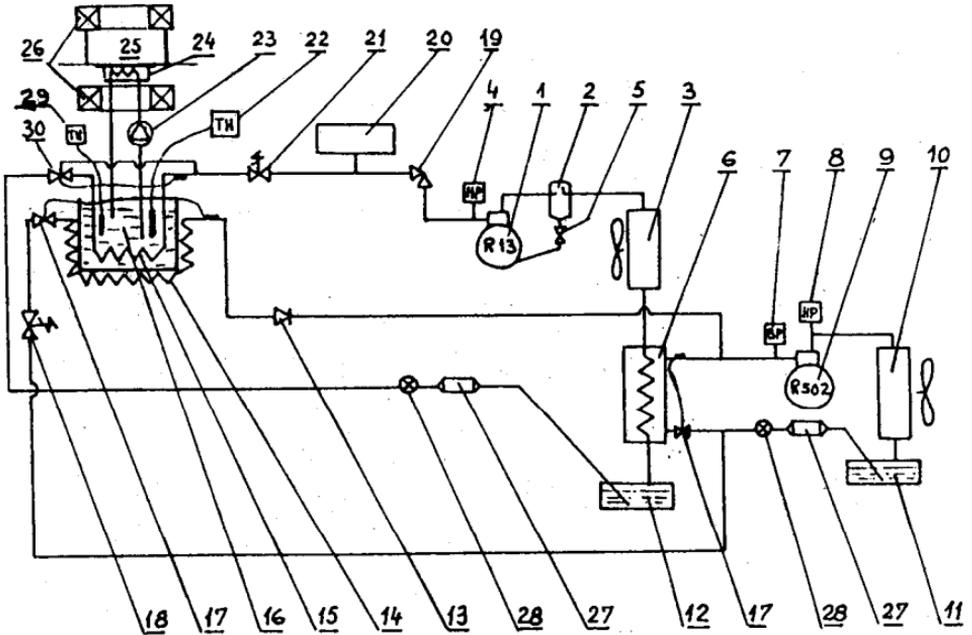
Voir photo n° 4.

SYSTÈME REFROIDISSEUR :

Plan ci-joint.

CHAMBRE A BROUILLARD

Schéma frigorifique



- | | |
|-----------------------------|----------------------------------------------|
| 1 Compresseur R 13. | 16 Réservoir méthanol. |
| 2 Récupérateur d'huile. | 17 Vanne d'évaporation thermostatique R 502. |
| 3 Condenseur R 13. | 18 Vanne électromagnétique. |
| 4 Pressostat HP. | 19 Régulateur de démarrage R 13. |
| 5 Vanne huile. | 20 Réservoir tampon R 13. |
| 6 Echangeur R 13, R 502. | 21 Vanne électromagnétique. |
| 7 Pressostat BP. | 22 Thermostat électronique. |
| 8 Pressostat HP. | 23 Pompe de circulation méthanol. |
| 9 Compresseur R 502. | 24 Echangeur méthanol-plaque. |
| 10 Condenseur R 502. | 25 Aquarium. |
| 11 Bouteille liquide R 502. | 26 Bobines. |
| 12 Bouteille liquide R 13. | 27 Déshydrateur. |
| 13 Clapet de non retour. | 28 Voyant liquide. |
| 14 Evaporateur R 502. | 29 Thermostat R 13. |
| 15 Evaporateur R 13. | 30 Vanne d'évap. thermostatique R 13. |

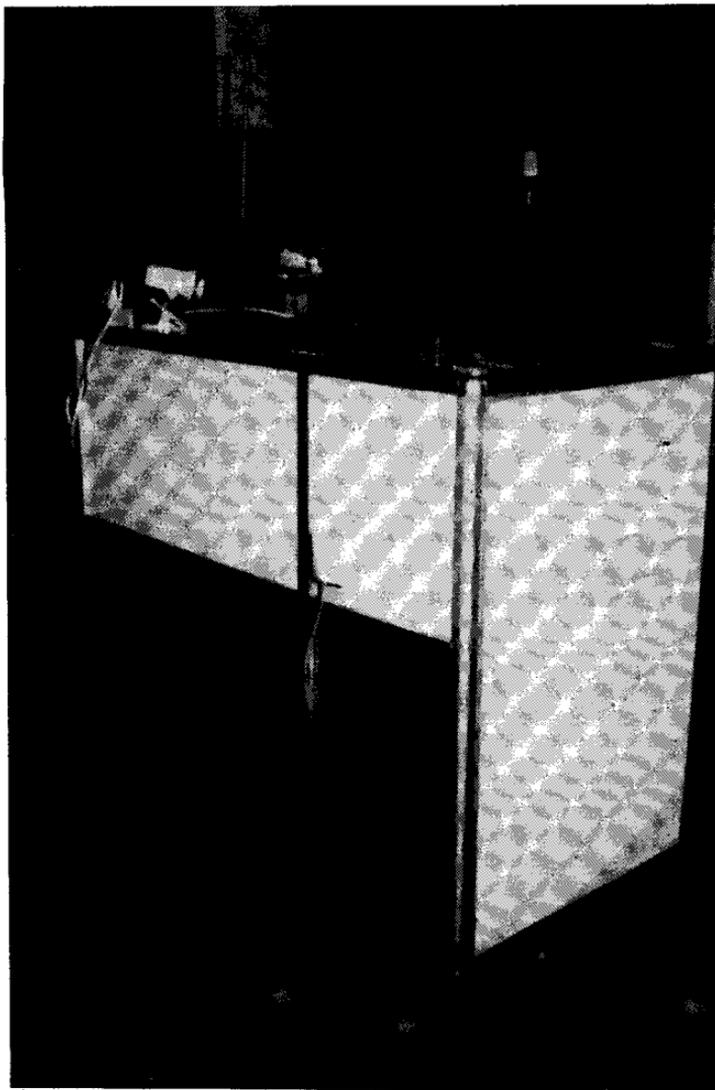


Photo n° 4

L'obtention d'une température capable de descendre à -100°C a nécessité l'usage d'une machine frigorifique à deux étages fonctionnant en cascade. Le premier étage fonctionne au R 502 et permet de porter la température du liquide de refroidissement de la plaque froide à environ -20°C . Un thermostat permet alors la mise en service du second étage fonctionnant au R 13, pour atteindre la température de plaque désirée.

5. Intérêt pédagogique et perspective d'avenir du prototype réalisé.

* La chambre à brouillard permanent se révèle un véritable petit laboratoire de Physique nucléaire qui permet en particulier d'illustrer les programmes de Sciences physiques du second cycle sur la structure granulaire de la matière et l'instabilité de certains atomes ; elle permet, entre autres :

- La mise en évidence des rayonnements de matières très faiblement radioactives (activité de quelques becquerels) : sels de thorium, d'uranium ou de radium (manchon Auer, roches uranifères, aiguilles lumineuses...).
- L'illustration de l'absorption sélective des rayonnements α , β par divers matériaux : air, papier, aluminium, plomb...
- De réaliser la déflexion magnétique de particules relativistes.
- La matérialisation de l'effet photoélectrique, de l'effet Compton, de l'expérience historique de transmutation de Rutherford et de l'énergie rayonnante de photons suffisamment énergétiques (γ à 2,61 MeV du tantale 208 contenu dans un sel de thorium par exemple !) en un couple de positon et électron conformément aux prévisions d'EINSTEIN.

* Ces expériences ne peuvent jamais être réalisées dans l'enseignement secondaire faute de l'absence du matériel adéquat ; elles pourraient aussi être montrées aux étudiants des Universités afin de mieux connaître la radioactivité.

* Il serait, en conclusion, à ce stade du projet, opportun d'affiner les expériences réalisables et de rationaliser la technologie du prototype pour le rendre moins encombrant, moins lourd et pouvoir en favoriser la production industrielle au moindre coût.

BIBLIOGRAPHIE

- *La Radioactivité en images*. Film vidéo couleur. VHS. 28 min. C.R.D.P. Lille.
 - *La Radioactivité et la chambre à brouillard permanent*. J. WALLON, C.R.D.P. de Lille.
 - *La Radioactivité artificielle et son histoire*. P. RADVANYI et M. BORDRY, Ed. du Seuil.
 - *La Radioactivité, c'est naturel*. H. FRANÇOIS, Ed. du Rocher.
 - *La Radioactivité et les Sciences de la vie*. C.E.A., rue de la Fédération, 75752 Paris.
- et publications diverses...