

ANNEXE 4

LABORATOIRE DES RAYONS COSMIQUES AU PIC DU MIDI DE BIGORRE (2870 m)

L'installation des cosmiciens au Pic du Midi de Bigorre à partir de 1947 est étroitement liée à deux équipements majeurs de l'observatoire : l'arrivée d'une ligne électrique en 1947, la réalisation d'un plan incliné à 40° en 1949 permettant l'acheminement des pièces lourdes en été, l'installation d'une benne de service en 1949 pour monter du matériel en hiver, et benne de chantier qui va permettre de construire un téléphérique pour le personnel qui sera mis en service en 1952.



Fig D1 : benne de service (1949) avec laquelle on construisit le téléphérique en 1952 (crédit INA)

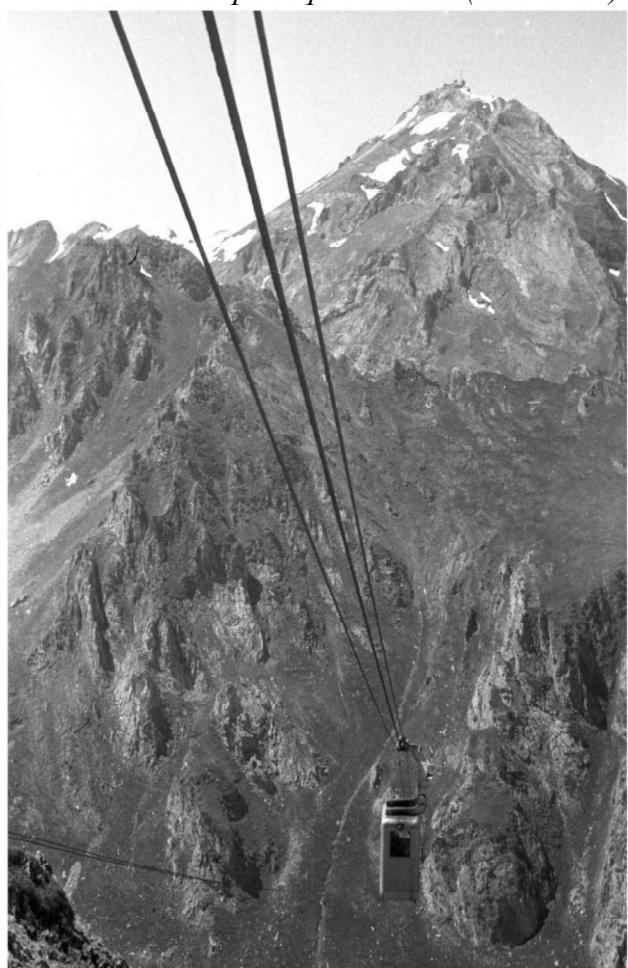


Figure D2 : le Pic du Midi en hiver et en été avec son téléphérique pour le personnel, opérationnel depuis 1952 (crédit OMP)

L'avantage du Pic, à partir de 1952, était l'accès « tout temps », la vaste place disponible au sommet et la puissance électrique disponible. La ligne électrique sous 15000 V délivrait la puissance de 3200 KVA depuis 1949. Le matériel lourd, transformateurs et électro-aimant de 11 tonnes de l'équipe Blackett de Manchester monta au Pic par le nouveau plan incliné de 220 m, faisant suite à la route empierrée du col du Tourmalet à l'hôtellerie des Laquets, praticable en été seulement.

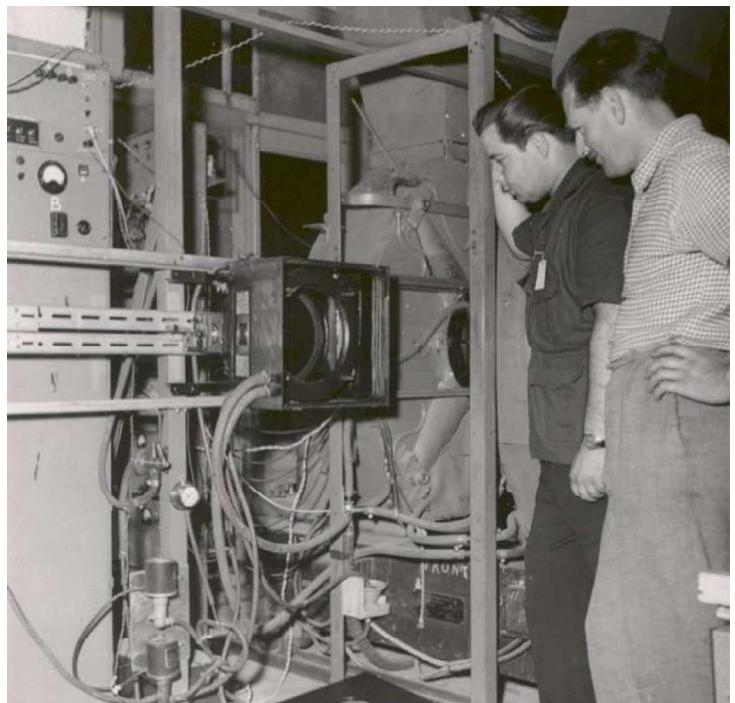
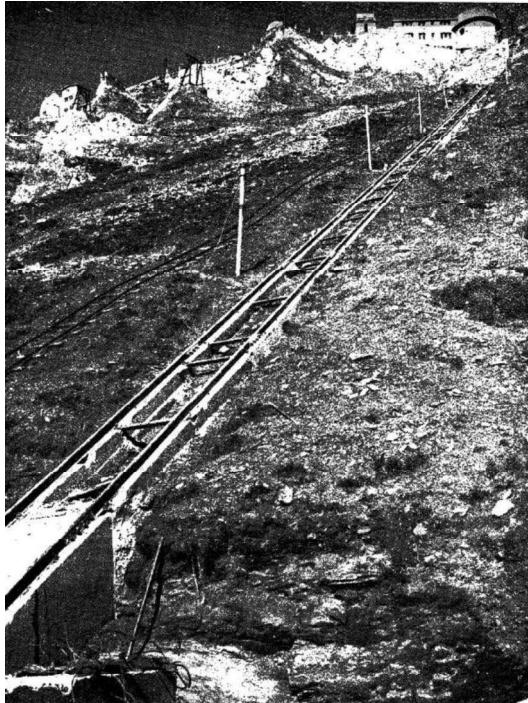


Figure D3 : plan incliné ayant servi à hisser l'électro-aimant de 11 tonnes du groupe Blackett de Manchester à l'observatoire (à gauche, d'après Rösch, 1951) et chambre de Wilson se glissant entre les deux bobines ventilées (à droite, d'après Sanchez, 2013)

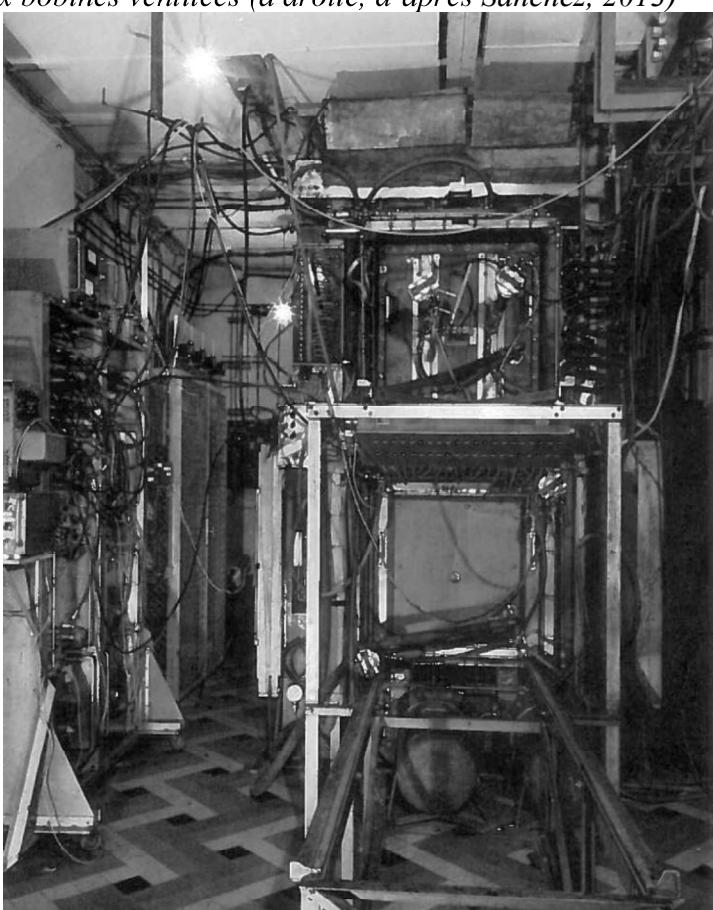


Figure D4 : double chambre de Wilson au Pic du Midi du groupe Leprince-Ringuet après 1952, d'après Rösch, 1963. Gérard Fontaine (2021) décrit ce grand équipement ainsi : « deux grandes chambres de Wilson superposées y sont construites, celle du dessus permettant de mesurer les trajectoires et les impulsions des particules (grâce à un champ magnétique) et celle du dessous (munie d'écrans absorbeurs) aidant à leur identification et à l'estimation de leur énergie. Bien des découvertes y furent effectuées de 1953 à 1956, en particulier celle de la désintégration du K en muon et neutrino. »

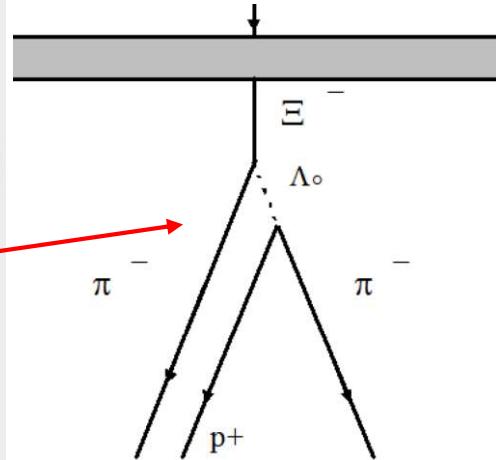
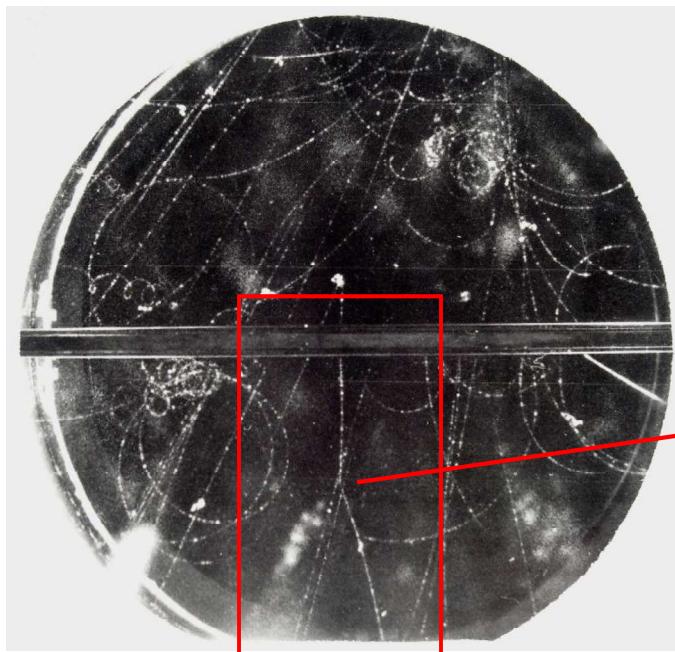


Figure D5 : désintégration d'un hypéron négatif (particule plus lourde que le proton, $2.35 \cdot 10^{-27}$ kg) dans la chambre de Wilson de Leprince-Ringuet au Pic du Midi. Elle se désintègre en un méson négatif et un autre hypéron neutre Λ^0 (la particule V plus lourde que le neutron, soit $1.98 \cdot 10^{-27}$ kg), qui à son tour donne un proton (positif, $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg) et un méson négatif ($0.25 \cdot 10^{-27}$ kg) laissant une trace en forme de V. Crédit OMP et Sanchez, 2013.

On peut comprendre pourquoi la puissance électrique était un point critique pour les physiciens des particules. Prenons une spire de courant plate de rayon R parcourue par un courant continu d'intensité I . Au centre de la spire, la loi de Biot et Savart nous donne :

$$B = \mu_0 I / 2R, \text{ et pour } N \text{ spires accolées, } B = \mu_0 N I / 2R$$

$$\text{Sa résistance pour une longueur } L = N 2\pi R \text{ est } r = (N 2\pi R) / \gamma s$$

Où s est la section du conducteur et γ sa conductivité ($5 \cdot 10^7$ S/m pour du cuivre).

$$\text{La puissance dissipée vaut } P = r I^2 = (N 2\pi R) I^2 / \gamma s = (N 2\pi R) (2R / \mu_0 N)^2 B^2 / \gamma s$$

Soit $P = B^2 (8\pi R^3) / (\mu_0^2 N \gamma s)$, dont on dérive B en fonction de P :

$$B = [P (\mu_0^2 N \gamma s) / (8\pi R^3)]^{1/2}$$

Le champ magnétique généré varie comme $P^{1/2}$, $N^{1/2}$ et $R^{-3/2}$ ou encore $V^{-1/2}$ si V désigne l'ordre de grandeur du volume utile baigné par le champ magnétique. Pour bénéficier d'un champ magnétique B fort, il faut donc augmenter la puissance électrique P ou le nombre de spires N , mais B n'évolue qu'en fonction de leur racine, ce qui est critique ! Les grandes chambres de Wilson seront plus difficiles à exploiter que les petites (R ou V grands). Le champ au voisinage des pôles de l'électro-aimant est amélioré par un noyau de fer doux (perméabilité μ grande).

L'usage de 2 bobines d'Helmoltz à N spires (en $x = 0$ et $x = 2d$) permet d'avoir à mi distance $x = d$ entre les deux un champ axial B_x selon Ox assez uniforme, car il est tel que $dB_x/dx = 0$ en $x = d$, et de valeur :

$$B_x = \mu_0 (N I / R) (1 + d^2/R^2)^{-3/2}$$

La composante radiale à la distance r de l'axe, au premier ordre en r , se calcule par $\text{div}(\mathbf{B}) = 0$ en symétrie cylindrique, elle vaut $B_r = -(r/2) \frac{dB_x}{dx}$; elle est du premier ordre en r , mais elle est nulle à mi distance $x = d$ entre les bobines où $\frac{dB_x}{dx} = 0$.

L'engouement pour le Pic du Midi des physiciens utilisant le rayonnement cosmique comme outil de physique nucléaire, servant à étudier les particules élémentaires (par collision ou désintégration), est résumé par Rösch (1963) et se déroula comme suit. Dès 1947, Occhialini exposait au Pic des plaques nucléaires dans lesquelles les mésons μ et π furent découverts. La particule lourde V (figure D5 ci-dessus, Cachon, 1953) fut identifiée par le groupe de Blackett à Manchester, qui décidait en 1949 d'approfondir la question en altitude au Pic où l'occurrence d'événements est bien plus fréquente qu'au niveau de la mer (20 fois plus), saisissant l'occasion de la mise en service de la ligne électrique ; c'est pour monter l'électro-aimant de 11 tonnes que le plan incliné de 220 m à 40° sera réalisé en été en prolongement de la piste montant du col du Tourmalet jusqu'à 2700 m. La chambre de Wilson de 30 cm de diamètre de Manchester était plongée dans un champ de 0.75 T. C'est de là que partit l'étude des particules plus lourdes que le proton (appelées hypérons). En 1951, le groupe Leprince-Ringuet vint aussi s'installer au Pic pour une durée de six ans. Ils montèrent deux grandes chambres de Wilson (80 x 80 x 40 cm), l'une dans un champ magnétique de 0.5 T (1000 KW de puissance absorbée). L'importance majeure de tous ces travaux fut couronnée de succès par le congrès international de Bagnères en 1953.

Par la suite, la mise en service progressive des grands accélérateurs comme ceux du CERN à Genève, fournissant un flux de particules incidentes connues et plus intense que le rayonnement cosmique (quoique souvent moins énergétiques) mit fin aux expériences menées en altitude et les recherches se déportèrent alors sur ces grands équipements internationaux.

FILMS D'ACCOMPAGNEMENT INA

1943INA.MP4 (CREDIT INA)

Construction de la ligne de service donnant accès au Col du Midi à 3600 m pour l'installation du laboratoire Leprince-Ringuet (vallée de Chamonix)

1946INA.MP4 (CREDIT INA)

Madame Irène Joliot Curie visite le laboratoire Leprince-Ringuet au Col du Midi à 3600 m (vallée de Chamonix)

PICMIDI-INA.MP4 (CREDIT INA)

L'accès au Pic du Midi à partir de 1949 (benne de chantier) puis 1952 (téléphérique), qui permettra d'installer les grands électro-aimants des équipes Blackett et Leprince-Ringuet