

**EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE**

CERN - PS DIVISION

PS/ PA/ Note95-18

**Experience DIRAC
Calcul des blindages**

L. Danloy

Geneva, Switzerland
12 September 1995

EXPERIENCE DIRAC

Calcul des blindages

L. Danloy

1. Introduction

Une connaissance élémentaire du calcul des blindages facilite les discussions avec le groupe Radioprotection auquel il doit être soumis pour approbation.

Cette note traite du calcul des blindages de l'expérience DIRAC (plan en annexe 1). Les formules et figures utilisées se trouvent dans le livre "A guide to radiation and radioactivity levels near high energy particle accelerators", de A.H. Sullivan (Ref. 1). Les règles de sécurité à respecter en matière de radioprotection, notamment lors du calcul, sont énoncées dans le "Manuel de radioprotection CERN", édition 1983 (Ref. 2). Quelques autres documents sont cités en références 3 et 4.

2. Données et hypothèses

- le faisceau : 2.7×10^{10} protons par seconde ; énergie cinétique de 24 GeV.
- la cible : considérée comme totalement transparente pour le calcul du beam dump
- déflexion maximum des protons dans l'aimant en aval de la cible : plus ou moins 22,5 mrad.
- le faisceau peut interagir totalement avec une "cible" accidentelle en tout point jusqu'au beam dump.

3. Murs de blindage latéraux et toiture

La dose équivalente $H(\Theta)$ en un point P , à une distance R du point P_0 d'interaction d'un proton et derrière un blindage d'épaisseur t est donnée par la formule (Ref. 1, p. 35) :

$$H(\Theta) = H_0(\Theta) \times \frac{1}{R^2} \times e^{-t/\lambda} \left[\text{Sv} \times \text{proton}^{-1} \right]$$

avec :

- R et t en mètres
- $H_o(\Theta)$: terme source $\left[\text{Sv} \times \text{m}^2 \times \text{proton}^{-1} \right]$ (Ref. 1, p. 37 et 38).
- Θ : (degrés) : angle formé par les directions PoP et du faisceau.
- λ : libre parcours moyen d'atténuation dans un matériau de blindage (mètre) (Ref. 1, pages 6 à 8)

$$\lambda_{fer} = 0,178 \text{ m}$$

$$\lambda_{baryte} = 0,350 \text{ m}$$

$$\lambda_{béton} = 0,430 \text{ m.}$$

Le tableau suivant donne les débits de dose calculés pour différentes combinaisons de matériaux, pour $\Theta = 90$ degrés et

$$R = 4 \text{ mètres}$$

$$H_o(90^\circ) = 2,16 \times 10^{-13}$$

Epaisseur du blindage (m)			Débit de dose [Sv x h ⁻¹]
Fer	Baryte	Béton	
-	2,4	-	1.43×10^{-3}
0,8	1,6	-	1.70×10^{-4}
0,8	0,8	-	1.54×10^{-3}
0,8	-	1,6	4.50×10^{-4}
0,8	-	0,8	2.25×10^{-3}
-	1,6	0,8	2.20×10^{-3}

En accord avec le groupe Radioprotection nous avons fixé la valeur maximum du débit de dose ainsi calculé à $1.50 \times 10^{-3} \text{ Sv} \times \text{h}^{-1}$. Les quatre premières combinaisons de matériaux satisfont à ce critère. Lorsque le projet EHNL (East Hall New Look) sera plus avancé il faudra :

- évaluer la probabilité d'une interaction totale ou partielle du faisceau de protons en tout point de la ligne ainsi que sa durée, reconstruire les distances R. Si nécessaire le blindage sera renforcé localement.

4. Le beam dump

- Le noyau central du beam dump doit être calculé en considérant l'atténuation du flux de muons résultant de la désintégration des pions secondaires produits dans la gerbe hadronique.

- La fluence ϕ_{μ} des muons derrière un blindage d'épaisseur t dans la direction du faisceau de protons et à une distance X du point d'interaction des protons est donnée par la formule (Ref. 1, p. 55).

$$\phi_{\mu} = \frac{0,085 \times E \times q}{X^2} \left(e^{-\frac{\alpha \times t}{E}} - e^{-15} \right) \left[\text{muons} \times m^{-2} \times \text{proton}^{-1} \right]$$

$$E = 24 \text{ GeV}$$

t et X en mètres

q : libre parcours moyen des pions secondaires avant interaction nucléaire

$$q = 1,8 \times \lambda [m]$$

α : perte d'énergie des muons par unité de longueur dans le blindage

$$\text{fer} : 23 \text{ GeV} \times m^{-1}$$

$$\text{béton} : 9 \text{ GeV} \times m^{-1}$$

- Un beam dump doit se terminer par du béton pour obtenir une atténuation optimale des neutrons produits (Refs. 3 et 4). Le noyau central a une longueur de 7,5 mètres de fer plus 1,6 mètre de béton.

- La fluence ϕ_{μ} dans l'axe du faisceau de protons a été calculée comme suit :

a) le béton n'intervient pas dans l'atténuation exponentielle et $q = q_{fer} = 0,32 \text{ m}$

$$\phi_{\mu} = 6,1 \times 10^{-6} \left[\text{muons} \times m^{-2} \times \text{proton}^{-1} \right]$$

b) le béton atténue et $q = q_{fer}$

$$\phi_{\mu} = 3,35 \times 10^{-6}$$

c) le béton atténue et q est pondéré :

$$q = 0,42 \text{ m}$$

$$\phi_{\mu} = 4,4 \times 10^{-6} \text{ s} \quad \text{On retient cette valeur.}$$

- Flux de muons

a) dans l'axe du faisceau : $1,2 \times 10^{+5} \left[\text{muons} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1} \right]$, soit un débit de dose de $12 \mu\text{Sv} \times \text{h}^{-1}$ ($1 \text{ muon} \times \text{cm}^{-2} \times \text{s}^{-1} = 1 \mu\text{Sv} \times \text{h}^{-1}$).

- b) Flux total

$$I_{\mu} = \frac{2 \times q}{\alpha \times t} \times e^{-\alpha t / E} \times 2,7 \times 10^{10} \left[\text{muons} \times \text{s}^{-1} \right] = 5,1 \times 10^4. \text{ (Ref. 1, p. 59).}$$

- Dimension transversale du faisceau de muons

Le faisceau de muons a une distribution gaussienne (Ref. 1, p. 57) et la largeur totale d de la gaussienne à la mi hauteur maximum est donnée par la formule (Ref. 1, p.58) :

$$d = 4,6 \times X \times (E \times \alpha \times t)^{-1/2} \quad (\text{mètres}) \text{ soit } 0,62 \text{ mètre.}$$

99,5% du flux total est contenu dans un cercle de 1,5 mètre de diamètre et le débit de dose moyen est de $2,9 \mu\text{Sv} \times \text{h}^{-1}$.

- Dimension transversale du noyau central

Le faisceau de protons subit, dans le plan horizontal, une déflexion maximum de plus et de moins 22,5 mrad. La distance entre le point de déflexion et les début et fin du noyau en fer est respectivement de 15 et 22,5 mètres. L'axe du faisceau de protons peut balayer une plage de 0,67 mètre à l'entrée et de 1 mètre à la sortie. Un noyau en fer de section $1,6 \times 1,6 \text{ m}^2$ à l'entrée, dont la largeur croit linéairement avec la profondeur pour atteindre 3,2 mètres à la sortie (section de $3,2 \times 1,6 \text{ m}^2$) contient l'entièreté du flux de muons (Figure à l'annexe 3).

5. Blindage en béton autour du noyau central en fer du beam dump

On peut se fixer un débit de dose maximum de $7,5 \mu\text{Sv} \times \text{h}^{-1}$ derrière ce blindage. Le calcul utilise la formule du calcul des murs et de la toiture (paragraphe 3) et la géométrie est représentée à l'annexe 2 (copie de la page 44, Ref. 1). Le blindage en béton nécessaire pour satisfaire à cette condition de débit de dose maximum est représenté à l'annexe 3. Cette optimisation du blindage ainsi que celle du noyau (Para. 4) doit être soumise au groupe Radioprotection.

6. La chicane d'accès

Les figure et formule utilisées sont données à l'annexe 4 (copie des pages 68 et 69, Ref. 1).

Les données pour le calcul sont les suivantes :

nombre de bras : $n = 5$

section de la chicane : $A = 0,8 \times 2,4 = 1,9 \text{ m}^2$

longueurs des chicanes :

$$L_1 = 7,5m$$

$$L_3 = 5m$$

$$L_2 = L_4 = L_5 = 2,5m$$

Tous calculs faits :
$$\frac{H_5}{H_0(90^\circ)} = 3,7 \times 10^{-8}$$

7. Zone secondaire de test avec un faisceau de muons, en aval du beam dump

Cette zone est représentée en annexe 2. Le flux de muons ($5,1 \times 10^4 \text{ muons} \times s^{-1}$) pourrait être augmenté d'un ordre de grandeur en enlevant 80 centimètres de fer et 160 centimètres de béton à la fin du beam dump.

REFERENCES

1. A.H. Sullivan "A guide to radiation and radioactivity levels near high energy particle accelerators", Nuclear Technology Publishing Ashford, Kent, T N23 1JW, England.
2. "Manuel de radioprotection CERN", 1983.
3. A. Aroua, H. Höfert, A. Samikov, G.R. Stevenson, "Reference High-Energy Radiation Fields at CERN", CERN/TIS-RP/94-12/CF.
4. G.R. Stevenson, A. Fasso, M. Höfert, J.W.N. Tuyn, "Dosimetry at high-energy accelerators", CERN/TIS-RP/95-07/PP.

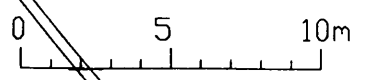
DISTRIBUTION

R. Cappi
 L. Danloy
 L. Durieu
 M. Giovannozzi
 J.-Y. Hémery
 M. Martini
 J.P. Riunaud
 J. Tuyn, TIS
 B. Williams



PROJET 03
ALICE / DIRAC / ATLAS et CMS

21.08.1995
G. Ganga 2009



Calculations of the dose equivalent along the outside of a beam dump consisting of a cylindrical iron core of 1 m diameter surrounded by 2 m of concrete, using Equation 2.10, is shown in Figure 2.10. It is estimated that this simplified approximation for the dose outside a dump or thick target is sufficient for all

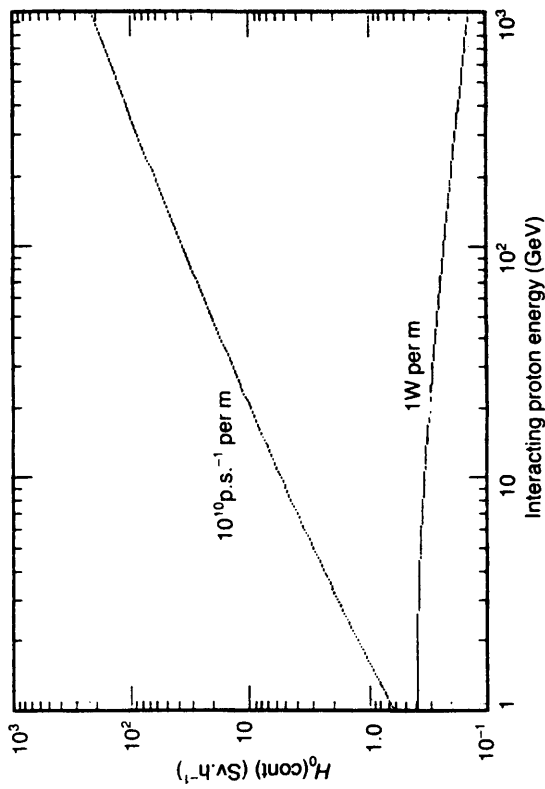


Figure 2.8. Source terms for calculating lateral shields (more than 3 mean free paths thick) expressed as dose at 1 m from uniform losses along a beam line of 10^{10} protons per metre per second and for losses equivalent to 1 watt per m.

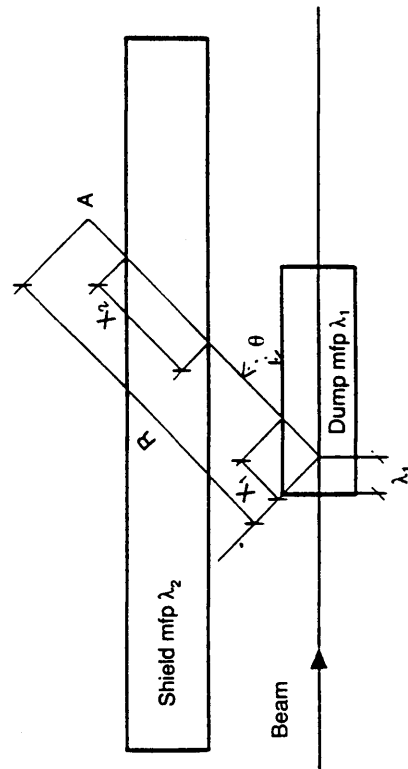


Figure 2.9. Simplified geometry for the estimation of dose near a shielded target or beam dump.

configurations where the lateral shield thickness is more than three times the high energy radiation attenuation mean free path in the material of the dump.

2.2. Shielding for protons below 1 GeV

2.2.1. The secondary radiation distribution

At energies below about 1 GeV, protons lose significant amounts of their energy by ionisation before interacting with a target nucleus. Hadrons effectively interact with a nucleus in a two-stage process. In the first stage the hadron collides with individual nucleons in the nucleus giving rise to an intra-nuclear cascade. The resulting 'cascade' neutrons are the major component of the secondary radiation that has to be taken into account for shielding purposes. Any charged particles emitted in an interaction by a proton of energy less than 1 GeV will have a high chance of losing all their energy by ionisation before they can interact further. The nucleus that is left after the initial interaction will be in an excited state and may

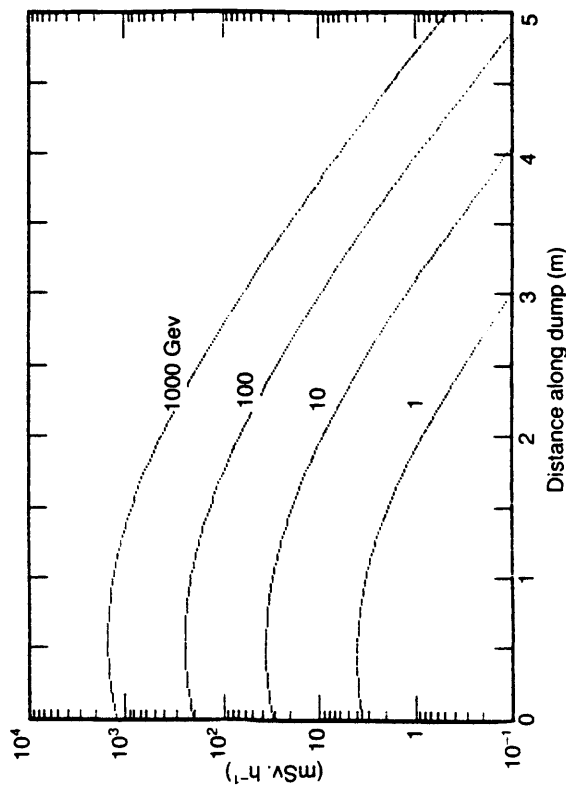
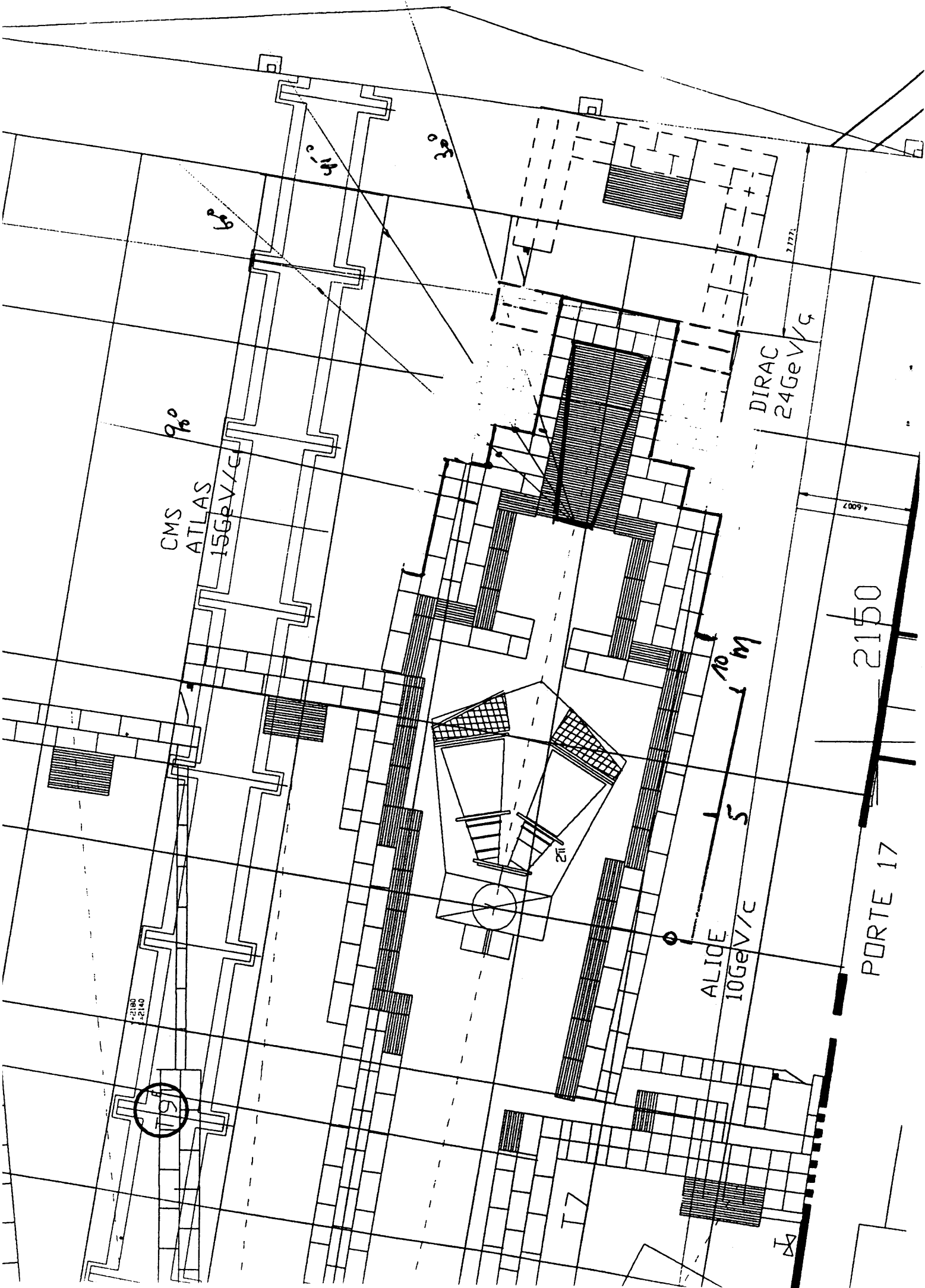


Figure 2.10. The dose rate outside a 1 m diameter iron beam dump surrounded by 2 m of concrete exposed to a beam of 10^{12} protons per second of different energies.



$$H_n = H_{(n-1)} \cdot \frac{K \cdot A_{(n-1)} \cdot \sqrt{A_n}}{L_n^3} \quad (2.36)$$

the radiation level at the exit of the chicane will therefore be

$$H_n = H_1 \times K^{n-1} \frac{A_1}{A_n} \left(\frac{\sqrt{A_2} \sqrt{A_3} \dots \sqrt{A_n}}{L_2 \cdot L_3 \dots L_n} \right)^3 \quad (2.37)$$

where H_1 is the radiation level at the end of the first leg.

If the chicane has a constant cross sectional area of $A \text{ m}^2$, then the dose equivalent transmission factor of a chicane with n legs, and in the case where the radiation source with a dose rate H_0 at 1 m is at a distance L_1 metres from the end wall of the first leg, the overall transmission becomes

$$\frac{H_n}{H_0} = \frac{T(n,A)}{L_1^2(L_2 \cdot L_3 \dots L_n)^3} \quad (2.38)$$

where

$$T(n,A) = (K \times A^{3/2})^{n-1} \quad (2.39)$$

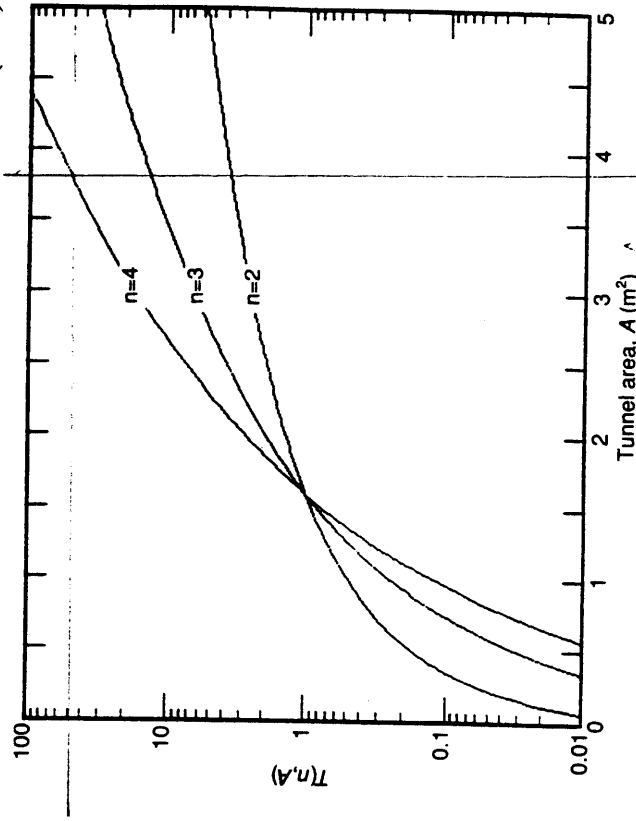


Figure 2.29. Transmission factors for neutrons along a chicane with n legs ($n = 2$ to 4) as a function of cross sectional area of the tunnel.

the chicanes are all of moderate dimensions where the effects of air scatter and absorption can be ignored. If H_0 is the radiation level at 1 m from the source in the direction of the chicane, then the level at the end of the first leg of the chicane of length X_1 whose mouth is at a distance R from the radiation source will be given by

$$H_1 = H_0 / L_1^2 \quad (2.33)$$

where

$$L_1 = R + X_1 \quad (2.34)$$

The length of a leg of a chicane would normally be measured from its mouth. However, the source of scattered radiation originates at the end wall of the previous leg so that the effective leg length is greater than that as measured from the mouth. For a leg of length X_n shown in Figure 2.28, the effective length is approximated by L_n where

$$L_n = X_n + \sqrt{A_{n-1}} \quad (2.35)$$

If H_n is the radiation level at the end of the n th leg of the chicane (after $(n-1)$ bends), then the transmission along the n th leg will be similar as for a hole in a shield (see Equation 2.32) and be given by

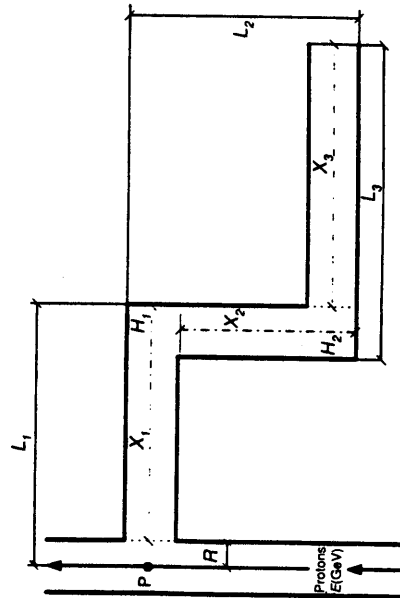


Figure 2.28. Diagrammatic layout of a 3-legged chicane. Secondary radiation is assumed to be produced by high energy particle interactions at P, which then interact at the end wall of the first leg before being scattered down successive legs of the chicane.