

1968

Federico Salvadé

Gestion des faisceaux

(texte)

CERN

Genève-Meyrin

11 juin 1968

Thesis-1968-Salvade

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00099089

GESTION DE FAISCEAUX

(Travail de Diplôme)

CERN LIBRARIES, GENEVA

Fait au CERN
Genève, le 11 juin 1968

Travail de diplôme pour Monsieur Federico Salvadi, cand. Ing.
c/o CERN, Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire,
Genève,

Semestre d'été 1968

Début du travail: 22 avril 1968

Fin du travail : 11 juin 1968

Gestion de faisceaux

"L'organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN) est un organisme scientifique européen dont les activités se rapportent essentiellement à la recherche fondamentale". La réalisation de cette mission est liée à différents programmes de recherche tant théorique qu'expérimentale. Le nombre croissant des expériences appliquées dans les programmes à court, moyen et long terme a incité le centre de gestion du CERN à rechercher une optimisation dans l'installation et l'utilisation des faisceaux.

Vous avez comme tâche d'étudier et d'analyser les paramètres intervenants dans une optimisation de l'utilisation des faisceaux. Sur la base de données physiques et techniques existantes, vous devez déterminer les prix de revient des faisceaux en fonction de paramètres choisis de manière adéquate. Pour les faisceaux pouvant s'intercaler entre les faisceaux standards vous pouvez procéder par extrapolation.

Entre autres, les points suivants sont à prendre en considération dans votre étude:

- paramètres intervenant dans l'installation
- paramètres intervenant dans l'utilisation
- coûts liés à ces paramètres
- incidences économiques de ces coûts
- optimisation
- trend et développement futur

Vous serez introduit au CERN ainsi que dans votre travail par Monsieur Coët, Division MPS, c/o Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, Genève.

Zürich, le 1 avril 1968
fa-ls


(Prof. W. Daenzler)

I N D E X

Pages

RESUME DU TRAVAIL ACCOMPLI

1	<u>COMPTE RENDU DE LA SITUATION ACTUELLE</u>	1
11	Fonctionnement du PS et transport de faisceaux	1
12	Définition des faisceaux standards	1
13	Eléments intervenant dans le transport de faisceaux	2
131	Aimants défecteurs	2
132	Lentilles magnétiques quadripolaires	3
133	Blindage	4
1331	Fonction du blindage	4
1332	Classification du blindage	5
134	Séparateurs électrostatiques et RF	6
135	Beam stoppers	7
136	Collimateurs	7
137	Magnetic slits	7
138	Caméras de télévision	7
139	Chambres à vide	7
1310	Redresseurs et génératrices	8
1311	Rhéostats	8
14	Paramètres intervenant dans l'installation et l'utilisation des faisceaux	8
141	Paramètres intervenant dans l'installation des faisceaux	8
1411	Aimants de déflexion et quadrupôles	9
1412	Redresseurs et génératrices	9
1413	Blindage	9
1414	Répartition du blindage par faisceau	11
1415	Séparateurs	11
142	Paramètres intervenant dans l'utilisation des faisceaux	11

15	Coûts liés à l'implantation et l'utilisation des faisceaux	12
151	Coûts liés à l'implantation	12
1511	Coûts liés au premier groupe	12
1512	Coûts liés au deuxième groupe	12
152	Coûts liés à l'utilisation des faisceaux	13
153	Considérations générales sur les prix	14
16	Prix de revient des faisceaux installés	14
2	<u>ANALYSE</u>	
21	Considérations techniques et économiques générales	15
211	Blindage des faisceaux secondaires	15
212	Précision du calcul des prix	15
22	Prix de la déflexion (aimants)	15
221	Prix d'installation de la déflexion	16
222	Prix de consommation pour la déflexion	16
223	Exemple de consommation par semaine pour un aimant de 1 m où le courant et l'angle de déflexion varient	16
224	Exemple de choix entre les aimants	17
225	Conclusions	18
23	Prix de revient des faisceaux	18
231	Considérations générales	18
2311	Faisceaux des halls Sud et Nord	18
2312	Faisceaux du hall Est	19
2313	Faisceaux des halls Sud, Nord et Est ensemble	19
2314	Faisceaux non séparés et faisceaux neutres	20
2315	Faisceaux séparés (RF inclus)	20
2316	Faisceaux éjectés	20

232	Prix de revient des faisceaux en fonction de la q.d.m.	21
2321	Prix d'installation au mètre en fonction de la q.d.m.	21
2322	Prix d'installation en fonction de la q.d.m.	22
2323	Prix de consommation par semaine en fonction de la q.d.m.	22
2324	Prix de consommation par mètre et par degré de déflexion en fonction de la q.d.m.	22
24	Prix de revient des faisceaux éjectés	24
241	Prix de revient du faisceau neutrino	24
2411	Blindage	24
2412	Eléments de transport	25
2413	Alimentation	25
2414	Vide	25
2415	Consommation électrique	25
2416	Consommation et coût d'installation du refroidissement	25
2417	Résultats	26
242	Prix de revient du faisceau éjecté ISR	26
243	Prix de revient du faisceau éjecté $58e_4$	26
244	Prix d'installation et de consommation des faisceaux éjectés $58e_4$, et ISR en fonction du temps	26
245	Prix d'installation des faisceaux éjectés $58e_4$, et ISR en fonction de l'ouverture	26
246	Conclusions sur les faisceaux éjectés	27
25	Conclusions finales	27
	Bibliographie	28

TABIE DES ANNEXES

Annexes N°

Compte rendu de la situation actuelle

- 1 Rapport succinct sur la production et l'accélération des protons dans le synchrotron du CERN (réf. 2)
- 2 Approved experiments CERN PS
- 3 Plans des faisceaux (les originaux en échelle 1:100, trop encombrants, ont été supprimés)
- 4 Coupe d'un aimant défecteur (réf. 1)
- 5 Coupe d'un quadropole (réf. 1)
- 6 Shielding of transport channel (réf. 3)
- 7 Shielding of target area and beam dump (réf. 3)
- 8 Séparateur électrostatique (réf. 1)
- 9 Caractéristiques techniques des aimants et des lentilles (réf. 1)
- 10 Caractéristiques techniques des redresseurs et des génératrices (réf. 1)
- 11/1-5 Liste des redresseurs et génératrices pour les faisceaux installés
- 12/1-4 Eléments de blindage (réf. 1)
- 13 Poids au mètre pour le canal de faisceaux éjectés
- 14/1-2 Répartition du blindage sur les faisceaux installés
- 15/1-6 Liste de consommation électrique pour les faisceaux installés (les consommations manquantes se trouvent sur les tableaux de la Section MU-Alimentation)

Annexes N°

- 16/1-3 Liste des prix des éléments de transport du Groupe I
- 17/1-2 Prix du blindage
- 18/1-4 Prix du vide
- 19 Prix des redresseurs et du rhéostat
- 20/1- Tables des éléments et de leurs prix intervenant dans les faisceaux installés
- 21/1-17 Prix d'installation et de consommation des faisceaux installés.

Analyse

- 22 Calcul du blindage pour les faisceaux secondaires du Hall Est
- 23 Tables pour l'annexe 24
- 24/1-7 Graphiques des prix d'installation des aimants en fonction de la q.d.m.
- 24/8-14 Graphiques des prix de consommation des aimants en fonction de la q.d.m.
- 25 Table pour l'annexe 26
- 26 Graphique de la consommation par semaine de l'aimant M 1m en fonction de la q.d.m. (l'angle de déflexion et le courant varient)
- 27 Prix d'installation au mètre des faisceaux non séparés et neutres en fonction de la q.d.m.
- 28 Prix d'installation au mètre des faisceaux séparés en fonction de la q.d.m.
- 29 Table des prix, des longueurs et des angles de déflexion des faisceaux installés
- 30 Prix d'installation des faisceaux non séparés et neutres en fonction de la q.d.m.
- 31 Prix d'installation des faisceaux séparés en fonction de la q.d.m.

Annexes N°

- 32 Prix de consommation par semaine de tous les faisceaux en fonction de la q.d.m.
- 33 Eléments, prix et consommation du faisceau neutrino
- 34 Plan du faisceau neutrino (est supprimé car trop encombrant)
- 35/1-2 Liste des éléments de transport du faisceau neutrino
- 36 Liste des éléments de transport du faisceau ISR
- 37/1-3 Prix d'installation et de consommation des faisceaux ν , ISR et $58e_4$
- 38 Prix d'installation et de consommation des faisceaux éjectés ν , ISR et $58e_4$ en fonction du temps
- 39 Prix d'installation des faisceaux éjectés ν , ISR et $58e_4$ en fonction de l'ouverture

TABLER D'ABREVIATIONS SCIENTIFIQUES

<u>Définition</u>	<u>Unités</u>
B champ magnétique	Wb/m ² ou Tesla ou Gauss
p quantité de mouvement	GeV/c
θ angle de déflexion	radian ou degré
L longueur	m
R résistance ohmique	Ω
I intensité de courant	Amp.
V tension	volt
G gradient ($\frac{B}{L}$)	Wb/m ³ ou $\frac{\text{Tesla}}{m}$ ou $\frac{\text{Gauss}}{m}$
P puissance	W
P _u puissance d'utilisation	
f distance focale	m
c vitesse de la lumière	m/s
ø constante	
Fr francs suisses	
kFr milliers de francs suisses	

$$10^3 \text{ mrad} = 1 \text{ rad}$$

$$10 \text{ mrad} = 0,573^\circ$$

$$1 \text{ Tesla} = \frac{1 \text{ V.s}}{m^2} = 10^4 \text{ Gauss} = 1 \text{ Wb/m}^2$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

TABLE DES ABREVIATIONS

Q	quadropole ou lentille
M	aimant
RF	radio-fréquence
PS	synchrotron à protons (ou Département du synchrotron à protons)
Sép	séparateur électrostatique
bs	beam stopper
R	redresseur
q.d.m.	quantité de mouvement
C	collimateur
NP	Division de physique nucléaire
MPS	Division du synchrotron à protons
ISR	anneaux de stockage à intersections (et Division ISR)
NPA	Division d'appareillage nucléaire
MU	Groupe d'utilisation de la machine
TC	Division des chambres à traces

RESUME DU TRAVAIL ACCOMPLI

Le problème de gestion de faisceaux a été accompli dans le cadre de ce travail en deux étapes.

Dans la première partie, compte rendu de la situation actuelle, on a déterminé le prix de revient d'installation et d'utilisation des faisceaux, sur la base d'une enquête faite afin de discerner tous les paramètres pouvant avoir une incidence économique.

Il s'agissait aussi de trouver les liaisons entre les coûts et les données techniques et physiques existantes.

La deuxième partie, l'analyse, consiste en une étude des coûts en fonction des paramètres choisis. Ces paramètres résultent de l'expérience acquise par le CERN pendant les années de son existence.

On a également essayé de donner une vue des problèmes qui interviennent dans la recherche d'une "optimisation" dans l'installation et l'utilisation des faisceaux. A cet égard, deux exemples ont été étudiés plus en détails.

1 COMPTE RENDU DE LA SITUATION ACTUELLE

11 Fonctionnement du PS et transport de faisceaux

Une courte introduction sur le fonctionnement du synchrotron à protons et sur le transport de faisceaux a déjà été rédigée dans le cadre d'un travail accompli au CERN (réf. 2) : Annexe 1.

12 Définition des faisceaux standards

Selon le nombre de particules et le type d'expérience (voir Annexe 2), il sera nécessaire de regrouper les différents faisceaux dans les groupes suivants :

1) faisceaux éjectés

les faisceaux éjectés considérés sont le $58e_4$, le $62e_3$ et le h_3 . Comme on peut le voir sur les plans de faisceaux (Annexe 3), soit le $58e_4$, soit le $62e_3$ desservent plusieurs faisceaux secondaires. Il est évident que, d'après les considérations souhaitées, on considérera l'ensemble du faisceau ou les différentes branches qui arrivent jusqu'aux cibles où naissent les particules pour les faisceaux secondaires.

2) faisceaux secondaires

a) faisceaux non séparés : ici, on a les faisceaux q_4 , q_5 , d_{27} , d_{7a} , s_4 , p_1 et p_2 . Pour les faisceaux p_1 et p_2 , qui contiennent des particules $K^\pm$ de durée de vie très brève, on aura des paramètres limitatifs pour les éléments de transport (voir Analyse).

b) faisceaux séparés : selon le type de séparateur (séparateur électrostatique ou séparateur RF), on aura deux types de faisceaux mais, puisque la base physique de l'expérience reste la même, on les groupera tout simplement sous les faisceaux séparés. On aura ici le m_{4b} , k_7 , k_8 , m_6 et le u_3 (RF).

- c) faisceaux neutres : la nature particulière des expériences liées aux particules neutres implique de considérer ces faisceaux séparément. Les aimants qui servent dans les autres à défléchir toutes les particules d'un faisceau sont employés ici pour séparer les particules chargées des particules neutres qui constituent le faisceau proprement dit. On considère ici le b_{13} et le b_{14} .

3) faisceau neutrino.

Tous les faisceaux envisagés se réfèrent aux faisceaux installés actuellement dans les deux zones expérimentales (Halls Nord et Sud et Hall Est) du PS.

13 Eléments intervenant dans le transport de faisceaux

Les éléments de base pour transporter les particules du PS au point où l'expérience se déroulera sont les quadrupoles, les aimants de déflexion, les séparateurs et le blindage. Au reste, l'équipement secondaire - naturellement aussi indispensable que les premiers éléments - se compose de redresseurs, beam stoppers, collimateurs, caméras de télévision, génératrices, magnetic slits, chambres à vide et équipement électrique.

131 Aimants défecteurs

La fonction de ces appareils est celle de défléchir le faisceau d'un angle désiré. Un champ magnétique perpendiculaire au plan de déflexion assure cette tâche selon la loi physique de Lorenz.

La longueur de l'aimant, la quantité de mouvement des particules et l'intensité du champ magnétique seront les paramètres de déflexion du faisceau, qui peut être exprimé par la formule :

$$\theta = 300 \frac{B \cdot L}{p}$$

où θ = angle de déflexion (radian)

B = champ magnétique (Wb/m²)

p = q.d.m. (MeV/c)

L = longueur des pôles de l'aimant (m)

Dans L'Annexe 4 on voit la coupe d'un aimant. Mais pourquoi faut-il défléchir ? Laissons de côté le cas des faisceaux neutres (chapitre 12). La déflexion assure une fonction géométrique. Soit dans le cas où les faisceaux partent tangentielllement au PS et doivent être répartis dans les halls expérimentaux (là où les détecteurs sont transportables) afin d'avoir une répartition favorable sur la surface, soit dans le cas où l'installation de détection est fixe (chambre à bulles, anneaux de stockage, etc.), la déflexion du faisceau est indispensable. En plus on devra défléchir soit pour éviter des obstacles, soit pour profiter d'un blindage d'un faisceau déjà existant (blindage commun).

132 Lentilles magnétiques quadripolaires

Les quadripôles ont une analogie avec les systèmes optiques (lentilles) et ont pour fonction de focaliser le faisceau. Leur caractéristique est de faire converger le faisceau dans un plan et de le faire diverger dans le plan perpendiculaire (toujours en direction du faisceau). C'est pour cette raison qu'on trouvera toujours les quadripôles par paires. L'analogie avec le système optique est obtenu par un profil polaire formé de deux hyperboles conjuguées et une perméabilité magnétique infinie de l'acier.

En réalité (voir Annexe 5), la forme des pôles sera différente pour des raisons techniques et de rentabilité,

la perméabilité sera limitée et un effet de bord (champ de fuite) éloignera les quadrupôles de l'analogie idéale avec les lentilles. Plusieurs paramètres interviennent également ici pour déterminer la longueur de focalisation :

$$f = \frac{1}{K^2 \cdot L} \quad \text{pour les quadrupôles courts}$$

$$f = \frac{1}{K \sin K \cdot L} \quad \text{" " " longs}$$

$$\text{ou } K^2 = \frac{3G}{p} \quad \text{et } G = \frac{B}{a}$$

B = champ magnétique (Gauss)

a = ouverture (cm)

G = gradient (Gauss/cm)

p = q.d.m. (GeV/c)

L = longueur du quadrupôle (m)

f = longueur de focalisation (m)

La fonction de focalisation permet d'obtenir un faisceau concentré alors que la tendance des particules de même charge est de se repousser et de disperser le faisceau.

133 Blindage

1331 Fonction du blindage

La fonction du blindage est liée à un facteur humain : la protection des personnes contre les radiations.

Dans le transport de faisceaux, on trouvera des sources de radiations là où les particules de haute énergie pourront interagir avec des objets comme les éléments de transport, les chambres à vide, etc. et naturellement là où on aura des cibles, des beam stoppers, etc. On entoure le faisceau d'une protection

afin de permettre au personnel de pouvoir rester un temps indéfini sans aucun danger dans les halls d'expérimentation ou, selon les cas, de permettre une brève permanence au personnel d'entretien et aux physiciens qui suivent directement les expériences, près des éléments et des appareillages électroniques disposés dans l'enceinte-même du faisceau. C'est la tâche de la physique de santé et des physiciens responsables du blindage de prendre les mesures de sécurité contre les accidents éventuels.

1332 Classification du blindage (réf. 3)

D'après l'intensité des particules et la zone de source des radiations, on peut faire les distinctions suivantes :

1) faisceaux primaires ou faisceaux éjectés

intensité : 10^{10} à 10^{11} protons/s actuellement et 10^{13} protons/s avec le développement futur du PS. Des exemples pratiques de faisceaux éjectés sont le h_3 , le faisceau neutrino, le e_3 et le e_4 . Ces faisceaux requièrent une conception différente du blindage selon leur intensité (le h_3 n'atteint que 5 % de l'intensité maximale créée par le PS). Les faisceaux primaires se composent en principe de :

- a) beam channel (canal de faisceau, voir Annexe 6). L'épaisseur des parois nécessaires a été calculée par les physiciens de blindage (réf. 3, 4 et 5) selon l'intensité et la qu.d.m. du faisceau;
- b) loss points (points de perte). L'énergie des particules dans les faisceaux n'ayant pas une seule valeur mais plutôt une répartition gaussienne des valeurs, on aura une certaine quantité de

particules ($\ll 1\%$) avec une énergie telle qu'on pourra avoir des interactions du faisceau avec les éléments de transport. C'est pour cette raison qu'il y faut un blindage supplémentaire.

c) target area and beam dump (zone des cibles et arrêt de faisceau). Comme on peut le voir dans l'Annexe 7, il s'agit d'une zone de fortes radiations. Pour des questions de sécurité, d'espace et d'économie, on emploie ici principalement le fer comme blindage.

2) faisceaux secondaires à haute intensité

actuellement aucun faisceau de ce type n'est installé dans les halls d'expérimentation.

3) faisceaux secondaires à basse énergie ($< 10^7$ particules/s)

a) provenant de 1). Il s'agit des faisceaux secondaires du Hall Est. Le blindage se limite aux parois avec une épaisseur de 0,8 m, avec des suppléments pour des zones particulières.

b) provenant des cibles internes du PS. Ce sont les faisceaux secondaires du Hall Sud et du Hall Nord. L'épaisseur des parois est normalement plus faible que dans le cas ci-dessus.

134 Séparateurs électrostatiques et RF

Les séparateurs électrostatiques consistent en une paire d'électrodes placées dans une enceinte à vide. Un courant de haute tension appliqué aux électrodes provoque un champ électrique. Un champ magnétique croisé compense les effets du champ électrique (les deux aimants aux extrémités du séparateur, voir annexe 3). La séparation des particules

chargées se fait en deux étapes : un aimant de déflexion définit dans une étroite bande la quantité de mouvement du faisceau, qui est ensuite séparé en vitesse entre les électrodes.

Le séparateur RF utilise des cavités résonnant à même fréquence et déphasées du temps de parcours des particules choisies. La séparation se fait selon la vitesse.

135 Beam stoppers

Un dispositif pneumatique obture le passage du faisceau par un élément métallique qui arrête complètement le faisceau.

136 Collimateurs

On donne au faisceau les dimensions voulues en le faisant traverser une ouverture réglable; les particules, dont la trajectoire s'écarte de l'ouverture, sont perdues dans les volets du collimateur.

137 Magnetic slits

Il s'agit d'un collimateur dont les limites sont des septa qui défléchissent complètement les particules indésirables.

138 Caméras de télévision

La dimension du faisceau (section transversale) est indiquée par des écrans luminescents observés par des caméras de TV.

139 Chambres à vide

La fonction des chambres à vide et des appareils connectés est d'empêcher les interactions des particules de haute énergie du faisceau avec les molécules d'air. Pour les détails et les prix, voir Annexe 18.

1310 Redresseurs et génératrices

Ils servent à redresser le courant alternatif provenant des transformateurs pour alimenter les aimants et les quadrupôles.

1311 Rhéostats

Les rhéostats sont employés dans le couplage de plusieurs éléments de transport à un seul redresseur. Un seul type de rhéostat est maintenant utilisé au CERN.

14 Paramètres intervenant dans l'installation et l'utilisation des faisceaux

Il convient de préciser ici que le but du CERN étant la recherche fondamentale et non la production il est difficile de déterminer quels paramètres interviendront directement sur le prix de revient des faisceaux. Un travail systématique de répartition des charges en centres d'activité dans le sens de comptabilité industrielle sera irréalisable et donnera un manque de cohérence des paramètres choisis. En outre, plusieurs paramètres ne seront pas considérés, soit à cause de la difficulté de leur détermination, soit pour l'influence secondaire qu'ils auront sur le prix de revient.

141 Paramètres intervenant dans l'installation des faisceaux

On a là un premier groupe formé des éléments de transport qui interviennent directement dans l'installation. Il s'agit des éléments qu'on trouve dans les plans de faisceaux (Annexe 3) : aimants, lentilles, séparateurs, caméras de télévision, collimateurs, magnetic slits, beams stoppers, blindage et chambres à vide.

Un deuxième groupe est formé par l'équipement nécessaire au fonctionnement du transport de faisceau, c'est-à-dire les redresseurs, génératrices, bâtiments pour la transformation

du courant à haute tension, équipement nécessaire au transport de l'électricité, tours de refroidissement et leurs distributions dans les halls.

Un troisième groupe, qui ne sera pas considéré dans ce travail, est composé par l'entretien des éléments des deux premiers groupes, le transport des éléments, les halls et tout le travail de conception concernant directement ou indirectement le transport de faisceaux.

Il convient là de donner des informations supplémentaires pour quelques éléments en question.

1411 Aimants de déflexion et quadrupôles

Les caractéristiques techniques de ces éléments sont rassemblées dans l'Annexe 9. Les aimants et les lentilles sont regroupés en principe en :

éléments standards

éléments spéciaux du PS

" " du TC

" " du NP

" " du NPA

éléments des ISR (les caractéristiques sont dans les dossiers du CERN)

1412 Redresseurs et génératrices (voir Annexe 10)

La liste des génératrices et des redresseurs connectés aux éléments de transport se trouve à l'Annexe 11.

1413 Blindage

Le blindage est formé principalement par des blocs de béton, de béton baryté et de fer (voir Annexe 12).

Le béton baryté ne sera pas considéré dans ce travail pour les raisons suivantes : premièrement, il n'est pas possible de distinguer dans les plans des faisceaux la nature des blocs de béton (une enquête sur

place sera même presque impossible). Deuxièmement, le béton baryté est en voie d'abandon : on utilisera les stocks existants mais on n'achètera plus que du béton traditionnel. Cette simplification est admise puisque les calculs pour l'épaisseur du blindage ne font pas la distinction entre les deux bétons. L'exemple le plus évident est que les blocs des deux types interviennent indifféremment dans une même paroi.

En ce qui concerne le poids au mètre des canaux de faisceaux éjectés, une simplification ultérieure a été faite : au lieu de compter tous les blocs qui forment les canaux des faisceaux h_3 , $58e_4$ et $62e_3$ (les plans des sections des canaux sont difficiles à rassembler et il s'agirait en plus d'un long travail), une épaisseur standard de 2,4 m a été choisie et le poids au mètre a été déterminé par interpolation entre les tonnages au mètre pour d'autres épaisseurs pré-existantes, calculés en moyenne dans les références 3 et 5. Suivant l'Annexe 13, on peut estimer la charge à 52,5 t/m.

Pour déterminer le blindage des faisceaux secondaires, les blocs de béton et de fer ont été additionnés suivant leurs dimensions (Annexe 12) à l'aide des plans des faisceaux (Annexe 3) et des indications sur les hauteurs (par la Section MU-Installation).

Pour les faisceaux éjectés, le canal étant estimé à 52,5 t/m, les zones des cibles à 500 t de fer et 2500 t de béton, les zones d'arrêt de faisceau à 600 t de fer et 1800 t de béton (réf. 3 page 188), on n'aura qu'une valeur purement d'estimation.

1414 Répartition du blindage par faisceau

Là où le blindage est commun à deux faisceaux, il est évident, à cause des considérations générales exprimées dans l'Analyse, qu'on doit considérer les parois communes pour chacun des deux faisceaux. Dans l'Annexe 14, on trouve la répartition du blindage pour tous les faisceaux considérés.

1415 Séparateurs

Les séparateurs sont connectés à une paire d'alimentations spéciales de ± 600 kV. Dans le prix d'achat des séparateurs, on considérera aussi l'alimentation et les câbles.

142 Paramètres intervenant dans l'utilisation des faisceaux

La consommation électrique liée aux éléments de transport fait l'objet de ce chapitre. La consommation d'eau des tours de refroidissement et les consommations mineures (huile, etc.) seront négligées. La consommation électrique des aimants et des quadrupôles pour les faisceaux installés est rapportée à l'Annexe 15. Pour l'alimentation des pompes et des ventilateurs de l'équipement de refroidissement, la consommation électrique a été estimée au CERN à 50 kW pour 1 MW de puissance installée dans les halls. Il est évident que ce chiffre sera une fonction de la puissance maximale d'alimentation admise dans les halls, de la puissance réelle au moment de l'expérience et d'autres facteurs encore. Mais il s'agit d'une valeur moyenne suffisante pour l'étude.

La consommation des séparateurs (qui ne sont pas refroidis) est en tout cas négligeable, étant donné que le courant ne passera dans les plaques que lorsque des particules seront défléchies sur elles et que le champ magnétique croisé empêchera ce transport de particules.

En ce qui concerne les pertes de courant dans les câbles d'alimentation des aimants et quadrupôles, dans les redresseurs et les transformateurs, une valeur de 20 % a été estimée au CERN.

15 Coûts liés à l'implantation et l'utilisation des faisceaux

151 Coûts liés à l'implantation

1511 Coûts liés au premier groupe (voir chapitre 141)

Suivant la numérotation employée dans la référence 1 et, par suite, dans l'Annexe 9, une liste de prix d'achat des éléments de transport a été établie. Les prix considérés sont des prix moyens, parfois incomplets, et doivent être considérés avec une certaine marge. La liste, les sources d'information et les remarques sont données à l'Annexe 16.

Pour les prix des blocs de blindage, voir l'Annexe 17.

Pour les prix du vide, établis sur l'exemple de quatre différents types de faisceau, voir l'Annexe 18.

1512 Coût liés au deuxième groupe (voir chapitre 141)

La liste des prix des redresseurs et du rhéostat se trouve à l'Annexe 19. Les génératrices ont été remplacées par des redresseurs équivalents (même puissance), puisque leur utilisation au CERN sera limitée étant donné leur remplacement par des redresseurs dans les nouvelles commandes. Les coûts d'implantation de l'électricité (réf. 6 avec mise à jour) sont résumés dans le schéma suivant :

pour 1 MW (= P1) de puissance consommée dans les aimants et lentilles, on aura besoin de 1,8 MW (= P2) de puissance disponible aux redresseurs (valeur moyenne).

C'est ainsi que les coûts d'implantation sont donnés
à 180 kFr/MW (P2)
ou 324 kFr/MW (P1).

Il s'agit, ici encore, non d'une fonction régulièrement
croissante du prix mais plutôt d'une fonction-escalier.
Plusieurs paramètres peuvent intervenir sur ces données.
Il n'est cependant pas possible d'en faire l'analyse
dans le temps mis à disposition pour ce travail.

Les coûts d'implantation pour le refroidissement ont
été estimés au CERN à 150kFr/MW (P1). Les considérations
sur l'implantation de l'électricité interviennent ici
également.

152 Coûts liés à l'utilisation des faisceaux

Etant donné que l'énergie électrique pour le refroidissement
a été estimée à 50 kW/MW (P1) et que le prix de consommation
sera pour le CERN de 6,0 ct/kWh, on peut rassembler en un
seul terme (afin de simplifier les calculs) la consommation
d'électricité directe des aimants et des quadrupôles avec
la consommation d'électricité du refroidissement.

Coûts de consommation par semaine :

a) consommation directe d'électricité =

$$\begin{aligned} & Y \text{ MW installés} \times 120 \% \text{ de } 6 \text{ ct/kWh} \times \text{nombre d'heures par semaine} \\ & = Y \cdot 1,68 \cdot 10^3 \cdot 7,2 \text{ Fr/semaine.} \end{aligned}$$

b) consommation pour le refroidissement

base 50 kW par 1 MW de puissance installée

$$\begin{aligned} & \frac{Y \text{ MW}}{1 \text{ MW}} \times 50 \text{ kW} \times 6 \text{ ct/kWh} \times \text{nombre d'heures par semaine} \\ & = Y \cdot 1,68 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \text{ Fr/semaine.} \end{aligned}$$

c) total

$$\begin{aligned} & Y \cdot 1,68 \cdot 10^3 (7,2 + 0,3) \\ & = 1,26 \cdot 10^4 \cdot Y \text{ (en MW) Fr/semaine.} \end{aligned}$$

153 Considérations générales sur les prix

Les prix mentionnés dans les chapitres 1511 et 1512 sont des prix moyens de plusieurs fournitures faites par des firmes extérieures, ou des prix de revient pour des appareillages qui ont été développés et construits au CERN.

Dans le premier cas, plusieurs paramètres peuvent faire varier le prix d'achat entre des valeurs pouvant présenter jusqu'à 50 % d'écart. L'importance de la commande, le fait que les études ont été faites en partie par le CERN ou non, qu'une firme pratique des prix de bataille, la nécessité pour le CERN d'avoir des appareils dans un délai très court, sont les paramètres les plus importants.

Pour les appareils développés et éventuellement construits au CERN, seuls les coûts du matériel et de main d'oeuvre sont disponibles. Les heures d'études effectuées au CERN sont très difficiles à évaluer et ne sont pas considérées dans ce travail.

16 Prix de revient des faisceaux installés

A l'Annexe 20, on trouvera les tables contenant les éléments de transport, leurs prix et les caractéristiques physiques des expériences faites au moyen de ces éléments.

A l'Annexe 21, figurent le prix d'installation et le prix de consommation total pour chaque faisceau.

2 ANALYSE

21 Considérations techniques et économiques générales

211 Blindage des faisceaux secondaires

Dans l'Annexe 22, on trouve la répartition du blindage des faisceaux secondaires du Hall Est. D'après ces données, on peut très bien calculer un tonnage moyen de 11 t/m pour chaque estimation future.

212 Précision du calcul des prix

Etant donné que l'approximation au kF est tout à fait suffisante pour les calculs provisionnels du budget au CERN, on restera dans cet ordre de grandeur. Pour les prix de revient des faisceaux, le problème de la précision de calcul se présente sous un aspect plus compliqué. Puisque les prix en question se composent de plusieurs facteurs qui, à leur tour, sont la somme de coûts de différentes estimations, il est presque impossible de déterminer les marges de calcul. On peut estimer le prix de revient total d'après la marge minimale de la composante la plus importante, c'est-à-dire les éléments de transport et les redresseurs. L'incertitude sur le prix étant estimée à 30 à 40 %, on peut établir, pour le prix total d'installation, une marge estimée à 30 % également. Pour le prix de consommation, l'écart sera plus petit et pourra être estimé à 5-10 %.

22 Prix de la déflexion (aimants)

Il s'agit de déterminer le prix de revient de la déflexion pour plusieurs types d'aimants, de donner une méthode de calcul et un ordre de grandeur, afin de pouvoir choisir entre un type d'aimant ou un autre quand les conditions physiques et techniques le permettront.

221 Prix d'installation pour la déflexion

Il s'agit de déterminer le prix d'installation par 10° (10° étant choisi comme unité pratique de déflexion) de déflexion en fonction de la quantité de mouvement.

La formule qui intervient est celle du chapitre 131 :

$$p = 17,2 \frac{B \cdot L}{\theta}$$

Le paramètre étant choisi (l'angle de 10°), on suppose que l'aimant sera exploité au maximum (courant maximum). Pour le cas où on voudra changer ces deux paramètres, on partira de l'exemple du chapitre 223.

Les données principales pour les aimants se trouvent à l'Annexe 9. Là où un aimant ne sera pas suffisant, on en prendra deux, etc., jusqu'à ce qu'on aie atteint la q.d.m. maximale du PS de 28 GeV/c.

Pour les graphiques, se reporter aux Annexes 24/1 à 24/7

222 Prix de consommation pour la déflexion

On a ici le prix de consommation par semaine pour 10° de déflexion en fonction de la q.d.m. Pour les résultats, voir Annexes 24/8 à 24/14

On tient compte des mêmes considérations que pour 221.

223 Exemple de consommation par semaine pour un aimant de 1 m où le courant et l'angle de déflexion varient

$$p = 17,2 \frac{B \cdot L}{\theta} = Cl \frac{B \cdot L}{\theta}$$

où θ = angle de déflexion ($^\circ$)

B = champ magnétique (Wb/m²)

L = longueur de l'aimant (m)

p = q.d.m. (GeV/c)

$$B = f_1(I) \approx C_2 I \text{ (courbes dans le User's Handbook)}$$

$$P = R \cdot I^2 \quad I = \text{courant (Amp.)}$$

$$\text{Prix} = C_3 \cdot P \quad P = \text{puissance (W)}$$

$$B = \frac{\theta \cdot p}{L \cdot C_1} \quad R = \text{Résistance (ohm)}$$

Prix = prix de consommation
par semaine (Fr/semaine)

$$\text{Prix} = P \cdot C_3 = C_3 \cdot R \cdot I^2 = C_3 \cdot R \cdot \frac{B^2}{C_2^2} = \frac{C_3 \cdot R}{C_1^2 \cdot C_2^2 \cdot L^2} \cdot \theta^2 \cdot p^2$$

$$\text{Prix} = c_4 \cdot \theta^2 \cdot p^2$$

La quantité de mouvement maximale pour une déflexion et un aimant donnés s'obtiendra par la formule :

$$p_{\max} = 17,2 \frac{L}{\theta} \cdot B_{\max}$$

Les simplifications suivantes ont été admises :

$$R \neq f(\text{Temp.}) = \emptyset$$

$$L_{\text{magn}} \neq f(I) = \emptyset$$

$$B = \emptyset \cdot I \text{ (jusqu'à } B_{\max} \text{)}$$

Le tableau de calcul et le graphique sont dans les Annexes 25 et 26.

224 Exemple de choix entre les aimants

L'Annexe 25/45 donne le prix fixe d'installation plus le prix de consommation, en fonction du temps, pour les différents aimants. Les paramètres contraignant sont l'angle de déflexion, une g.d.m. moyenne et l'exploitation maximale des aimants.

225 Conclusions

Le chapitre 22 présente une grande quantité de paramètres (ils n'ont pas été tous considérés) qui pourront amener à un choix "optimal" entre les aimants au moment de leur installation. Seul un travail de plus vastes proportions avec l'aide d'un ordinateur pourrait mener facilement à la détermination d'installation et d'utilisation optimales des éléments de transport de faisceaux.

23 Prix de revient des faisceaux (voir Annexe 29)

231 Considérations générales

Les coûts des bâtiments ont été estimés au CERN à 1200 Fr/m^2 . Les surfaces de halls comprennent les surfaces des halls proprement dits et les surfaces entre le PS et le mur de division des halls (voir Annexe 3).

La consommation électrique moyenne par semaine de tous les faisceaux a été estimée d'après les données pour 1967 (réf. 2, Annexes 57 et 58), qui comprennent aussi les arrêts du PS, à 3940 kW. La situation du 27 avril 1968 donne 2,0 MW de consommation électrique dans les zones Sud et Nord, et 1,8 MW dans la zone Est. Les 3940 kW répartis dans la même proportion que le 27.4.68 donnent 2,07 MW et 1,87 MW respectivement. Le prix d'installation sans équipement secondaire ne contient que le prix des éléments de transport, du vide et du blindage.

2311 Faisceaux des halls Sud et Nord

- a) somme des longueurs 348 m
- b) somme du prix d'installation total des faisceaux:
8970 kFr
- c) somme des prix d'installation des faisceaux sans
équipement secondaire : 4920 kFr

1. 26

14

- d) surface : 4250 m^2
- e) prix total :
prix du bâtiment, à $1,2 \text{ kFr/m}^2$ = 5100 kFr
prix d'install. des faisceaux = $\underline{4920 \text{ kFr}}$
 10.020 kFr
- f) prix des faisceaux au mètre :
 $4920 \text{ kFr}/348 \text{ m} \approx 14 \text{ kFr}$
- g) prix total par m^2 de surface:
 $10.020 \text{ kFr}/4250 \text{ m}^2 \approx 2,4 \text{ kFr}$
- h) consommation électrique : $2,07 \text{ MW}$
- i) coût de consommation moyenne par semaine : $\approx 26 \text{ kFr}$
- j) coût de consommation moyenne par an : $26 \times 52 \approx 1350 \text{ kFr}$

2312 Faisceaux du hall Est

- a) 823 m
- b) 33.404 kFr
- c) 20.040 kFr
- d) 4520 m^2
- e) 25.460 kFr (base pour le prix du bâtiment : $1,2 \text{ kFr}$)
- f) $\approx 24 \text{ kFr}$
- g) $\approx 5,6 \text{ kFr}$
- h) $1,87 \text{ MW}$
- i) $\approx 24 \text{ kFr}$
- j) $\approx 1200 \text{ kFr}$

2313 Faisceaux des halls sud, nord et est ensemble

- a) 1170 m
- b) 42.374 kFr
- c) 24.961 kFr
- d) 8870 m^2
- e) 35.580 kFr
- f) $\approx 21 \text{ kFr}$

- g) ≈ 4 kFr
- h) 3,94 MW
- i) ≈ 50 kFr
- j) ≈ 2600 kFr

2314 Faisceaux non séparés et faisceaux neutres (Annexe 29)

- a) faisceaux considérés : q_4 , q_5 , d_{27} et d_{27a} , s_4 ,
 b_{13} , p_2 , p_1 et b_{14}
- b) somme des longueurs : 420 m
- c) somme des prix totaux d'installation des faisceaux :
12.287 kFr
- d) somme des prix des faisceaux sans équipement secondaire : 5.354 kFr
- e) rapport entre le prix d'installation total et le
prix sans équipement des faisceaux (c/d) : 2,3
- f) prix d'installation total au mètre (c/b) : 29 kFr/m
- g) prix d'installation sans équipement secondaire au
mètre (d/b) : 12,7 kFr/m

2315 Faisceaux séparés (RF inclus) (Annexe 29)

- a) m_{4b} , k_7 , k_8 , m_6 , u_3
- b) 359 m
- c) 18.337 kFr
- d) 12.085 kFr
- e) 1,5
- f) 51 kFr/m
- g) 33,6 kFr/m

2316 Faisceaux éjectés (Annexe 29)

Le prix d'installation des faisceaux $58e_4$ et $62e_3$ comprend la totalité des éléments et du blindage de toutes les branches de ces faisceaux, même dans le cas où quelques branches ont du blindage en commun.

- a) $58e_4, 62e_3, h_3$
- b) 392 m
- c) 11.750 kFr
- d) 7.520 kFr
- e) 1,55
- f) 30 kFr/m
- g) 19 kFr/m

232 Prix de revient des faisceaux en fonction de la quantité de mouvement

2321 Prix d'installation au mètre en fonction de la q.d.m.

Les graphiques sont représentés en Annexes 27 et 28.
 Le prix d'installation, qui est une fonction de la q.d.m. maximale atteinte par les faisceaux, sera différent selon le type de l'expérience. Pour les faisceaux non séparés et neutres, on peut estimer les coûts d'installation par une fonction régulièrement croissante avec l'augmentation de la q.d.m. On exclut ici les faisceaux neutres qui peuvent être considérés à très bon marché (l'influence des champs magnétique et électrique pour les particules neutres étant nulle) et les faisceaux p_1 et p_2 . Ces deux derniers faisceaux servent à transporter des particules K_{en}^+ de durée de vie très brève. La longueur du faisceau sera limitée mais un même nombre d'éléments que pour un faisceau traditionnel sera toutefois nécessaire sur cette longueur raccourcie. C'est par cette raison qu'on peut expliquer le prix au mètre plus cher. Pour les faisceaux séparés, le prix au mètre diminue avec l'inverse de la q.d.m.

2322 Prix d'installation en fonction de la q.d.m.

On peut voir dans les Annexes 30 et 31 que le prix d'installation peut être déterminé en fonction de la q.d.m. indépendamment de la longueur des faisceaux, et que les points calculés se trouvent, avec une bonne approximation, sur une droite. On trouvera des prix très bas pour les faisceaux neutres et un prix en dessous de la moyenne pour les faisceaux p_1 et p_2 , suite aux considérations mentionnées au chapitre 2321.

2323 Prix de consommation par semaine en fonction de la q.d.m.

D'après l'Annexe 32, on peut constater que la consommation suivra une certaine loi d'augmentation dans le domaine des hautes énergies. Pour les basses énergies, d'autres facteurs interviennent (comme la déflexion, pour des raisons de géométrie de faisceaux) pour disperser les données. Puisque la déflexion des faisceaux séparés et non séparés ne suit aucune loi physique, et que les faisceaux courts ont en plus une déflexion supérieure à la moyenne (voir Annexe 29), ce sera justement dans ces faisceaux que la déflexion aura une influence remarquable.

2324 Prix de consommation par mètre et par degré de déflexion en fonction de la q.d.m.

Il serait très intéressant, pour prévoir les coûts de consommation des faisceaux qui seront installés dans le futur, de donner un prix de consommation par mètre et par degré, étant donné que la consommation n'intervient que pour les lentilles et les aimants (qui servent respectivement à focaliser le faisceau dans sa longueur et à le défléchir selon des angles désirés).

Malheureusement, des facteurs comme le rapport du nombre d'aimants et de lentilles par faisceau, ou

l'intervention des séparateurs, ou d'autres facteurs encore, empêcheront de trouver entre ces paramètres un rapport qu'on puisse utiliser.

Ce qu'on peut dire pour un faisceau de longueur et de déflection données est que les coûts de consommation augmenteront avec le carré de la q.d.m., mais l'extrapolation entre les différents faisceaux ne sera pas admise.

Démonstration (pour les formules, voir chapitres 13 et 152) :

a) quadrupôles :

$$\text{si } f = \frac{1}{K^2 \cdot L}, \quad k^2 = \frac{3}{p} \frac{G}{a}, \quad G = \frac{B}{a}, \quad a = \varnothing, \quad L = \varnothing, \quad f = \varnothing$$

On en déduit que $B = \varnothing_1 p$

Puisque : $\text{prix} = \varnothing_2 P, \quad P = \varnothing_3 I^2, \quad I = \varnothing_4 B, \quad B = \varnothing_1 p,$

on aura : $\text{prix} = \varnothing p^2.$

b) aimants défecteurs

$$\text{si } p = \varnothing_1 \frac{B-L}{\theta}, \quad L = \varnothing, \quad \theta = \varnothing, \quad \text{on aura } B = \varnothing_2 p$$

Puisque $\text{prix} = \varnothing_3 P, \quad P = \varnothing_4 I^2 \text{ et } B = \varnothing_5 I,$

on aura : $\text{Prix} = \varnothing p^2.$

Le fait que dans le faisceau on aura plusieurs lentilles et aimants avec des différents θ, L, f et des différentes constantes ne changera pas le fait que le prix de consommation restera une fonction de p^2 , puisque $ap^2 + bp^2 + cp^2 + \dots = (a+b+c+\dots) p^2.$

La même considération vaut dans le cas où on additionnera la consommation des lentilles (qui dépend de la distance focale totale) à la consommation des aimants (qui dépend de l'angle total de déflection).

En observant les coûts de consommation des faisceaux, pris indépendamment aux différentes q.d.m. (Annexe 32), on aura la démonstration pratique de cette loi du carré (les prix devront encore être divisés par la longueur et l'angle de déflexion correspondant à chaque faisceau).

24 Prix de revient des faisceaux éjectés

Dans ce chapitre on établit une comparaison entre trois types différents de faisceaux éjectés, soit le $58e_4$ de 117 m de longueur (sans zone de radiation), le faisceau neutrino (ν) de 88 m avec une alimentation pulsée, et le faisceau éjecté des ISR, de 100 m. La q.d.m. est la même (21 GeV/c) pour les trois faisceaux, tandis que l'ouverture des éléments, qui peut être considérée constante sur la longueur de chaque faisceau, sera un paramètre de comparaison. La longueur des trois faisceaux étant presque identique, on considérera une longueur moyenne de 100 m. En effet, le nombre d'éléments d'un faisceau à une q.d.m. donnée reste presque le même pour les 10-20 m en plus ou en moins sur les 100 m de longueur totale.

241 Prix de revient du faisceau neutrino (ν)

D'après l'Annexe 33 et le plan du faisceau (Annexe 34), on peut déterminer le prix de revient. On tient également compte des considérations suivantes :

2411 Blindage

Le blindage consiste en un canal de béton comme pour les autres faisceaux éjectés, mais de largeur plus petite. La largeur des éléments de ce faisceau étant de 0,6 m au lieu de 2,1 m, on aura un poids au mètre de 44 t/m pour le canal. Le calcul a été fait d'après la géométrie du canal (voir Annexe 6). En ce qui concerne la longueur du canal, étant donné une

longueur de 30 m à l'intérieur du PS, elle a été estimée à 70 m (ceci vaut également pour les deux autres faisceaux).

2412 Eléments de transport

Voir Annexe 35. Les prix indiqués sont ceux de 1963.

2413 Alimentation

Les aimants et lentilles de ce faisceau ont une alimentation pulsée, qui consiste à laisser passer des impulsions de courant dans les bobinages des éléments toutes les 2 secondes, ce qui équivaut à une grande économie de consommation électrique. Le coût des appareils d'alimentation (câbles, condensateurs, redresseurs, contrôle électronique, etc.) peut être estimé à 46 kfr pour chaque élément.

2414 Vide

Le vide a été estimé à 8 kfr pour 88 m de longueur, ce qui donne 9 kfr pour 100 m.

2415 Consommation électrique

La consommation électrique a été calculée d'après l'énergie emmagasinée dans les condensateurs (voir $\frac{1}{2} CV^2$ dans l'Annexe 33), en considérant cette énergie pour 2 sec.

2416 Consommation et coût d'installation du refroidissement

Etant donné que le débit d'eau par minute est de 5 l pour chaque élément et qu'on peut en déduire une puissance électrique virtuelle (comme pour les éléments alimentés par courant continu) d'après la formule $P = \frac{4,18 \Delta T(^{\circ}) Q}{60 \text{ sec}}$ (kW) (pour $\Delta T = 30^{\circ}$) égale à 0,16 MW, on peut calculer les coûts d'installation et de consommation du refroidissement.

2417 Résultats

Voir Annexe 37/1.

242 Prix de revient du faisceau éjecté ISR

Le faisceau éjecté des ISR n'est naturellement pas encore installé et pour cette raison beaucoup d'indications précises manqueront dans cette estimation. Le blindage sera un canal de 52,5 t/m, de 70 m de longueur. La liste des éléments est donnée à l'Annexe 36. Pour la puissance d'utilisation de ce faisceau, qui manquait, on a d'abord additionné toutes les puissances maximales des éléments et le même rapport $P_{\text{max}}/P_{\text{utilisé}}$ a été pris, comme pour le faisceau e_4 . Le plan du faisceau a été supprimé car trop encombrant.

Pour le prix d'installation et de consommation, voir Annexe 37/2.

243 Prix de revient du faisceau éjecté $58e_4$ (Hall Est)

La liste des éléments se trouve à l'Annexe 20/16. Pour le blindage, on a calculé ici encore un canal de 52 t/m, de 70 m de longueur.

Les prix calculés correspondants figurent à l'Annexe 37/3.

244 Prix d'installation et de consommation des faisceaux éjectés $58e_4$, ν et ISR en fonction du temps

Ces prix sont reportés à l'Annexe 38. On constate, d'après les résultats, que le faisceau neutrino sera toujours le plus économique, suivi par le faisceau éjecté des ISR et en dernier par le faisceau $58e_4$.

245 Prix d'installation des faisceaux éjectés $58e_4$, ν et ISR en fonction de l'ouverture

Etant donné une ouverture moyenne de 50 mm pour le ν , de 100 mm pour les ISR et de 200 mm pour $58e_4$, on constate

d'après l'Annexe 39, que le prix d'installation augmente avec l'ouverture. Cette conclusion doit cependant être considérée à part puisque le faisceau neutrino possède une alimentation spéciale.

L'influence de la consommation sur le prix d'installation donne une courbe de plus en plus raide en rapport avec le temps écoulé (comparer avec l'Annexe 38).

246 Conclusions sur les faisceaux éjectés

La comparaison entre les trois faisceaux considérés montre l'intérêt, du point de vue économique, d'installer des faisceaux en alimentation pulsée. Cette comparaison n'est qu'une estimation avec des marges de variation plus grandes que pour les faisceaux secondaires, mais devrait suffire pour donner un ordre de grandeur et une possibilité de comparaison sur le plan économique.

25 Conclusions finales

Le CERN est un centre de recherche nucléaire dans lequel les problèmes techniques sont liés à la recherche expérimentale. C'est pour cette raison que l'élément économique des problèmes techniques ne doit pas peser et devenir une contrainte sur la valeur ou la durée des efforts faits pour l'expérimentation. Il s'agit plutôt pour la gestion d'avoir une vue générale de la répartition des frais (ce qu'on a déjà en partie par les budgets) et d'en tirer continuellement des conclusions, afin de trouver de nouvelles solutions toujours plus économiques.

Un cas pratique est illustré par le nouveau faisceau ISR où plusieurs décisions devront être prises en tenant compte des considérations économiques les plus récentes faites d'après les dernières expériences.

Mayrin, le 11/6/68

Federico Salvetti

BIBLIOGRAPHIE

N° référence

- 1 CERN Proton Synchrotron (CPS) User's Handbook
Vol. I et II (CERN)
- 2 Gestion d'un complexe d'informations
(Travail de diplôme de Patrick Marchand, 1967)
- 3 " The Second Stage CPS Improvement Study
Study Group for CPS Improvements, Geneva, 3rd October 1967
- 4 Nuclear Instruments and Methods, Journal; Vol. 32,
January 1965; Part II, pages 48-52, by A. Citron and
L. Hoffmann
- 5 Costs for shielding of high intensity primary beams;
Memorandum by L. Hoffmann, 1.9.67 (CERN)
- 6 Real cost of the 3rd East Rectifier Building including
all installation; Memorandum by H. Reitz, 20.10.1967
(CERN)