

SEPTA d'INJECTION et d' EJECTION pour SUPERLEAR

M.THIVENT

1 - Introduction

Une étude de faisabilité d'une machine destinée à produire une extraction superlente pour des antiprotons jusqu' à 12 GeV/c (SLEAR) a été entreprise dans la division PS.

La section PS/PA/SE est chargée de l'étude des septa nécessaires dans cette machine et la présente note décrit les septa magnétiques et les bumpers destinés à l'injection du faisceau depuis le proton synchrotron (PS) ainsi que les septa électrostatiques et magnétiques pour l'éjection ultralente depuis SLEAR vers les zones expérimentales.

1.1 Extraction depuis le PS et Injection dans SLEAR

Les antiprotons quittent le PS en section droite 84 par une éjection horizontale (kickers et septum magnétique pulsé) avec une quantité de mouvement comprise entre 3.5 GeV/c et 12.5 GeV/c , ils passent dans une ligne de transfert et entrent dans SLEAR par un système d'injection vertical placé dans la section SL1 composé d'un septum magnétique pulsé sous vide et d'un kicker. Un ensemble de deux bumpers pulsés et hors vide complète le système d'injection .

Les protons sont injectés dans SLEAR en section droite SL7 de la même manière et avec des septa identiques ..

1.2 Ejection lente depuis SLEAR vers les zones expérimentales.

L'ejection lente de SLEAR jusqu'à 12 GeV/c se fait en section droite SL3 par un septum électrostatique de 0.1mm d'épaisseur suivi de septa magnétiques DC sous vide ,car le saut du premier élément est faible , puis de septa magnétiques DC hors vide (entourant la chambre à vide)

2 - Injection dans SLEAR

2.1 Septa magnétiques pulsés sous vide (4 septa au total) & 2 alim. détails en annexe 1

Pour les protons et les antiprotons chaque fois 2 septa monopole identiques et alimentés en série.
Soit 4 septa au total. Déflexion totale = 60 mrad

épaisseur septum :	4.2 mm		
longueur magnétique :	900 mm		
induction dans le gap :	1.3 T.	Déflexion :	30 mrad
Gap :	h= 40 mm	W total = 62 mm	(disponible faisceau = 45 à 50mm)

Alimentation pour deux septa en série :
détails en annexe 2

Courant 41520 A 1/2 sinus = 5 ms
Résistance = 0.5×10^{-3} ohms
Inductance = 4×10^{-6} Henry
transfo possible : $n1/n2=10$ C= 8×10^{-3} F 1100 V

2.2 Bumper hors vide (6 Bumpers au total)

Deux types de Bumper monopire mais avec seulement une longueur de culasse différente . Le même type d'alimentation pouvant convenir.

2.2.1 Bumper 6.5 mrad à 12 GeV/c (2 fois 2)

détails en annexe 3

épaisseur septum : 4.2 mm
longueur magnétique : 450 mm
induction dans le gap : 0.537 T.
Gap h=68.4 mm W total = 80 mm (65 mm disponible entre bobines)

Alimentation pulsée 30000 A pulsée 1/2 sin =5 ms. (4 alimentations et transfos.)
détails en annexe 4

résistance : 0.2×10^{-3} ohms
inductance : 0.7×10^{-6} Henry
transfo possible : $n1/n2=20$ capacité= 1×10^{-2} Farad U = 300 V

2.2.2 Bumper 9.5 mrad à 12 GeV/c (2 fois 1)

détails en annexe 5

épaisseur septum : 4.2 mm
longueur magnétique : 700 mm
induction dans le gap : 0.52 T.
Gap h=68.4 mm W total = 80 mm (65 mm disponible entre bobines)

Alimentation pulsée 28000 A pulsée 1/2 sin =5 ms. (2 alimentations et transfos.)

détails en annexe 6

résistance : 0.25×10^{-3} ohms
inductance : 1.1×10^{-6} Henry
transfo possible : $n1/n2=10$ capacité= 6×10^{-3} Farad U= 500 V.

3. Ejection de SLEAR

3.1 Septum électrostatique sous vide

détails en annexe 7

Longueur électrodes : 2000 mm
Gap : 13 mm
Tension : 90 kV Déflexion à 12 GeV/c : 1.15 mrad
Epaisseur septum : feuille = 0.1 mm ou fil d= 0.1 mm tous les 2mm

3.2 Septa magnétiques sous vide

2 septa alimentés en série avec une seule alimentation :

détails en annexe 8

épaisseur septum : 3 mm
longueur magnétique de chacun : 900 mm
induction dans le Gap : 0.265 T Déflexion à 12 GeV/c : 6 mrad
Gap h= 20 mm W total avec bobine = 40 mm (disponible faisceau : 25 a 30 mm)

courant DC dans les septa : 4220 A.
Inductance de l'ensemble des deux aimants : 2.5×10^{-3} ohms
Résistance " " : 10×10^{-6} Henry

3.3 Septa magnétiques hors vide

3 septa dont 2 identiques .

Les 3 septa sont alimentés en série avec une seule alimentation .

3.3.1 Septum 4 spires : épaisseur de 10 mm

détails en annexe 9

épaisseur du septum : 10 mm conducteurs 8.8×7.4 mm² et écran
longueur magnétique : 1200 mm
induction dans le gap : 0.42 T Déflexion à 12 GeV/c : 12.7 mrad
Gap h= 36 mm W total = 130 mm (disponible faisceau : 100mm)

3.3.2 Septa identiques de 12 spires : épaisseur 25 mm

détails en annexe 10

épaisseur du septum : 25 mm : 12 spires en 2 couches et écran
longueur magnétique : 1200 mm
induction dans le gap : 1.248 T Déflexion à 12 GeV/c : 38 mrad
Gap h= 36 mm W total = 130 mm (disponible faisceau : 55 mm)

3.3.3 Alimentation commune DC :

Courant : 2980 A
Résistance totale : 20×10^{-3} ohms
Inductance totale : 1.7×10^{-3} Henry

Alim. pulsée : proposition demi. sinus pour
 SUPERLEAR Injection 12GeV/c 60mrad 2 septa série

Septa magnetiques

Annexe 2

M.Thivent

DONNEES			
PI	PI	3.141592	
Résistance Aimant	RA	4.40E-04	Ohms
Inductance Aimant	LA	3.50E-06	Henrys
Résistance ligne	RL	0.00E+00	Ohms
Inductance ligne	LL	0.00E+00	Henrys
Période (Imp.+Tps entre imp.)	T	1.20	sec.
Precision sur I _{max} (faisceau)	PRE	1.00E-03	
Rapport Transfo N _e (n1/n2)	N	10	
Capacite sur Alimentation	Cp	8.00E-03	Farads
Courant max. dans Aimant	I _{max}	41519	Amp.

RESULTATS			
Résistance ramenée au primaire	Rp	4.40E-02	Ohms
Inductance ramenée au primaire	Lp	3.50E-04	Henrys
Capacité ramenée au primaire	Cp	8.00E-03	Farads
Résistance ramenée au secondaire	Rs	4.40E-04	Ohms
Inductance ramenée au secondaire	Ls	3.50E-06	H
Capacité ramenée au secondaire	Cs	8.00E-01	F
période de l'impulsion= $2\pi/\sqrt{((1/Ls*Cs)-(Rs^2/4)}$	T	1.06E-02	sec.
Largeur de l'Impulsion 1/2	T/2	5.29E-03	s
Pulsation du systeme amorti	w	594	rad/s
Resistance crit. d'amortissement	Rc	4.18E-03	Ohms
Courant Efficace vrai (I eff vrai)	I eff vrai	1945	A
Courant Efficace(approx. sinus)	I eff sin	1949	A
Courant moyen (approx. sinus)	I moy sin	116	A
Courant moyen vrai (integrati: I moy vrai)	I moy vrai	116	A
Facteur de forme vrai	Kf	16.75	
Coef. de crete vrai	Kc	21.35	
Tension sur l'aimant	Us	101	V
Tension sur capacité Alim	Up	1014	V
Tension inverse sur Capa	U inv	-727	Volts
Energie dans capacites a t=0	Wp	4113	Joules
Energie stockee dans l'aimant a I _{max}	Ws	3016.697882	Joules
Pertes joules bobine = RJ	Pj	1671	W
Temps précis pour faisceau	Dt (I _{max})	1.51E-04	s.
Delai pour I _{max} (position du top)	t (max)	2.47E-03	sec.
di/dt max (pour t=0)=Cs*U _i	DI/DT	2.90E+07	A/s
Pulsation du syst. non amorti=1/sqrt(Ls*Cs)	wn	598	rad/s
Coef.d'amortis.reduit =Rs/2*SQRT(Cs/Ls)	E	1.05E-01	
Coefficient d'amortissement = Rs*Cs	C am.	3.52E-04	
Coef.d'amort. critique=2*sqrt(Ls*Cs)	C crit.	3.35E-03	
Constante de temps=2*Ls/Rs=1/(E*wn)	tau	1.59E-02	
Rapport cyclique (impuls./periode -impuls.)	r.cycl	0.0044	

Remarques:

PSI=asin(beta*sqrt(Ls*Cs)	PSI	1.47E+00	
t(I _{max})=PSI/beta	t(I _{max})	2.47E-03	sec
beta=pseudoperiode=sqrt((1/Ls*Cs)-Rs^2/4*Cs^2)	beta	594	rad/s
I _{max} =sqrt(Cs/Ls)*V*exp(-alpha*PSI/beta)	I _{max}	41519	Amp
alpha=Rs/(2*Ls)= 1/tau	alpha	63	sec-1
U inv = -1*U max*exp(-alpha*T/2)	U inv	-727	volts
Position I max=PSI/beta	t max	2.47E-03	sec
	x	0.42	vT
pour t donne foncion de largeur impuls. : t=x*T/2	t	2.22E-03	sec
i=V/(beta*Ls)*exp(-1*alpha*t)*sin(beta*t)	i(t)	4.107E+04	Amp
I _{moy} =Cs*Us*wn^2/(T*(E^2*wn^2+w^2))^.....(1-exp(-1*E*wn*tau))			
autre expression de i(t) pour t=x*T/2	t	2.220E-03	sec
i=(Cs*Us*wn^2)/w*exp(-1*E*wn*t)*sin(w*t)	i(t)	4.107E+04	sec

DONNEES

PI	PI	3.141592	
Resistance Aimant	RA	1.40E-04	Ohms
Inductance Aimant	LA	6.60E-07	Henrys
Resistance ligne	RL	0.00E+00	Ohms
Inductance ligne	LL	0.00E+00	Henrys
Periode (Imp.+Tps entre Imp.	T	1.200	sec.
Precision sur I _{max} (faisceau)	PRE	1.00E-03	
Rapport Transfo N= (n1/n2)	N	20	
Capacite sur Alimentation	Cp	1.00E-02	Farads
Courant max. dans Aimant	I _{max}	29228	Amp.

RESULTATS

Resistance ramenee au primaire	Rp	5.60E-02	Ohms
Inductance ramenee au primaire	Lp	2.64E-04	Henrys
Capacite ramenee au primaire	Cp	1.00E-02	Farads
Resistance ramenee au secondaire	Rs	1.40E-04	Ohms
Inductance ramenee au secondaire	Ls	6.60E-07	Henrys
Capacite ramenee au secondaire	Cs	4.00E+00	Farads
periode de l'impulsion= $2\pi/\sqrt{(1/Ls*Cs)-(Rs^2)}$	T	1.04E-02	sec.
Largeur de l'impulsion 1/2 sinus.	T/2	5.18E-03	sec.
Pulsation du systeme amorti	w	606	rad/s
Resistance crit. d'amortissement	Rc	8.12E-04	Ohms
Courant Efficace vrai (Integration)	I _{eff} vrai	1351	Amp.
Courant Efficace(approx. sinus)	I _{eff} sin	1358	Amp.
Courant moyen (approx. sinus)	I _{moy} sin	80	Amp.
Courant moyen vrai (Integration)	I _{moy} vrai	80	Amp.
Facteur de forme vrai	Kf	16.95	
Coeff. de crete vrai	Kc	21.64	

Remarques:

$PSI = \text{asin}(\beta \sqrt{Ls * Cs})$	PSI	1.40E+00	
$t(I_{max}) = PSI / \beta$	t(I _{max})	2.31E-03	sec
$\beta = \text{pseudoperiode} = \sqrt{(1/Ls * Cs) - Rs^2 / 4 * Ls^2}$	beta	606	rad/s
$I_{max} = \sqrt{Cs / Ls} * V * \exp(-\alpha * PSI / \beta)$	I _{max}	29228	Amp
$\alpha = Rs / (2 * Ls) = 1 / \tau$	alpha	106	sec-1
$U_{inv} = -1 * U_{max} * \exp(-\alpha * T / 2)$	U _{inv}	-175	volts
Position I _{max} = PSI / beta	t _{max}	2.31E-03	sec
	x	0.42	1/T
pour t donne fonction de largeur impuls. : $t = x * T / 2$	t	2.18E-03	sec
$i = V / (\beta * Ls) * \exp(-1 * \alpha * t) * \sin(\beta * t)$	i(t)	2.914E+04	Amp
$I_{moy} = Cs * Us * \omega^2 / (T * (E^2 * \omega^2 + w^2)) * \dots$ $\dots (1 - \exp(-1 * E * \omega * \tau))$			

Tension sur l'aimant	Us	15	Volts
Tension sur capacite Allm	Up	303	Volts
Tension Inverse sur Capa	U _{inv}	-175	Volts
Energie dans capacites a t=0	Wp	460	Joules
Energie stockee dans l'aimant a I _{max}	Ws	281.911075	Joules
Pertes joules bobine = $RA * I_{eff}^2$	PJ	258	Watts
Temps precis pour faisceau	Dt (I _{max})	1.48E-04	sec.
Delai pour I _{max} (position du top)	t (max)	2.31E-03	sec.
Pulsation du syst. non amorti = $1 / \sqrt{Ls * Cs}$	w _n	615	rad/s
Coeff.d'amortis.reduit = $Rs / 2 * \text{SQRT}(Cs / Ls)$	E	1.72E-01	
Coefficient d'amortissement = $Rs * Cs$	C _{am.}	5.60E-04	
Coeff.d'amort. critique = $2 * \sqrt{Ls * Cs}$	C _{crit.}	3.25E-03	
Constante de temps = $2 * Ls / Rs = 1 / (E * \omega_n)$	tau	9.43E-03	
Rapport cyclique (impuls./periode -Impuls.)	r.cycl	0.0043	

autre expression de i(t) pour $t = x * T / 2$ t 2.176E-03 sec

$i = (Cs * Us * \omega_n^2) / \omega * \exp(-1 * E * \omega_n * t) * \sin(\omega * t)$ i(t) 2.914E+04 sec Page 1

DONNEES

RESULTATS

PI	PI	3.141592		Resistance ramenee au primaire	Rp	8.40E-02	Ohms
				Inductance ramenee au primaire	Lp	4.12E-04	Henrys
Resistance Aimant	RA	2.10E-04	Ohms	Capacite ramenee au primaire	Cp	6.00E-03	Farads
Inductance Aimant	LA	1.03E-06	Henrys				
Resistance ligne	RL	0.00E+00	Ohms	Resistance ramenee au secondaire	Rs	2.10E-04	Ohms
Inductance ligne	LL	0.00E+00	Henrys	Inductance ramenee au secondaire	Ls	1.03E-06	Henrys
				Capacite ramenee au secondaire	Cs	2.40E+00	Farads
Periode (Imp.+Tps entre Imp.)	T	1.200	sec.	periode de l'impulsion= $2\pi/\sqrt{(1/Ls\cdot Cs)-(Rs^2)}$	T	1.00E-02	sec.
Precision sur I _{max} (faisceau)	PRE	1.00E-03		Largeur de l'impulsion 1/2 sinus.	T/2	5.00E-03	sec.
				Pulsation du systeme amorti	w	628	rad/s
				Resistance crit. d'amortissement	Rc	1.31E-03	Ohms
Rapport Transfo N= (n1/n2)	N	20		Courant Efficace vrai (Integration)	I eff vrai	1280	Amp.
				Courant Efficace(approx. sinus)	I eff sin	1286	Amp.
Capacite sur Alimentation	Cp	6.00E-03	Farads	Courant moyen (approx. sinus)	I moy sin	75	Amp.
				Courant moyen vrai (Integration)	I moy vrai	74	Amp.
Courant max. dans Aimant	I _{max}	28172	Amp.	Facteur de forme vrai	Kf	17.24	
				Coeff. de crete vrai	Kc	22.00	

Remarques:

PSI=asin(beta*sqrt(Ls*Cs))	PSI	1.41E+00		Tension sur l'aimant	Us	23	Volts
t(I _{max})=PSI/beta	t(I _{max})	2.25E-03	sec	Tension sur capacite Allim	Up	464	Volts
beta=pseudoperiode=sqrt((1/Ls*Cs)-Rs^2/4*Cs^2)	beta	628	rad/s	Tension inverse sur Capa	U inv	-279	Volts
I _{max} =sqrt(Cs/Ls)*V*exp(-alpha*PSI/beta)	I _{max}	28172	Amp	Energie dans capacites a t=0	Wp	646	Joules
alpha=Rs/(2*Cs)= 1/tau	alpha	102	sec-1	Energie stockee dans l'aimant a I _{max}	Ws	408.735716	Joules
U inv = -1*U max*exp(-alpha*T/2)	U inv	-279	volts	Pertes joules bobine = RA*I _{eff} ²	Pj	348	Watts
Position I _{max} =PSI/beta	t max	2.25E-03	sec	Temps precis pour faisceau	Dt (I _{max})	1.42E-04	sec.
	x	0.42	t/T	Delai pour I _{max} (position du top)	t (max)	2.25E-03	sec.
pour t donne fonction de largeur impuls. : t=x*T/2	t	2.10E-03	sec	Pulsation du syst. non amorti=1/sqrt(Ls*Cs)	wn	636	rad/s
i=V/(beta*Cs)*exp(-1*alpha*t)*sin(beta*t)	i(t)	2.805E+04	Amp	Coeff.d'amortis.reduit =Rs/2*SQRT(Cs/Ls)	E	1.60E-01	
I _{moy} =Cs*Us*wn^2/(T*(E^2*wn^2+w^2))*.....				Coefficient d'amortissement = Rs*Cs	C am.	5.04E-04	
.....(1-exp(-1*E*wn*tau))				Coeff.d'amort. critique=2*sqrt(Ls*Cs)	C crit.	3.14E-03	
				Constante de temps=2*Ls/Rs=1/(E*wn)	tau	9.81E-03	
				Rapport cyclique (impuls./periode -impuls.)	r.cycl	0.0042	

autre expression de i(t) pour t=x*T/2

t 2.102E-03 sec

i=(Cs*Us*wn^2)/w*exp(-1*E*wn*t)*sin(w*t)

i(t) 2.805E+04 sec Page 1

Annexe 7

PREDETERMINATION SEPTUM ELECTROSTATIQUE

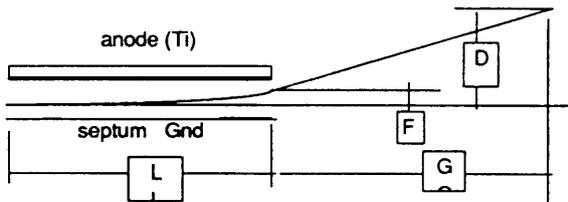
Type de septum

SUPERLEAR EJECTION SEH32

DONNEES	
particules : électrons=e ; protons=p	p
quantité mouvt :MV énergie cinét. :EC	MV
Quantité de mouvement p :	<input type="text" value="12.00"/> GeV.c-1
Déflexion = d en mrad	<input type="text" value="1.15"/> mrad
Gap entre électrodes	13 mm
longueur du septum (électrodes)	2 m
Espace de glissement	<input type="text" value=""/>

RESULTATS		protons
masse au repos = Mo		0.9400 GeV/c ²
Quantité de Mouvt p =		12.0000 GeV/c
Energie cinétique Ec =		11.0968 GeV
Tension entre électrodes		89 kV
Déplacement à la sortie du septum		1.15 mm
Déplac.après espace de glissement		1.15 mm
beta		0.9969
gamma		12.81
beta*gamma		12.766

longueur septum L	2	m
Espace de glissement G		m
Déflexion sortie septum F	1.15	mm
Déflexion après espace de glissement D	1.15	mm



Annexe 8

PREDETERMINATION SEPTUM MAGNETIQUE

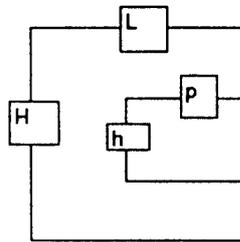
SLEAREJ2.XLS

PW prot:MT

type d'aimant

SLEAR.SEPTA EJECTION 2eme élément**7 tubes 3x3 mm² avec trous 1.5 x 1.5 mm²**

DONNEES			RESULTATS		PROTONS	
particules electrons : e	protons : p	p	Masse au repos	mo	0.94	GeV/c ²
quant.mouv ^t : MV	Energie cin. : EC	MV	Energie cinétique		11.0968	GeV
Quantité de mouvement	p =	12 GeV/c	Quantité de mouvement		12.0000	GeV/c
Déflexion requise		12 mrad	beta		0.9969	
Epaisseur du septum		3 mm	gamma		12.8051	
Hauteur du Gap		20 mm	beta*gamma		12.7660	
Profondeur du Gap		40 mm	Déplacement sortie septum		11.93	mm
Longueur de la culasse		1.8 m	Champ intégré B*L		0.480	T.m
Espace de glissement		2.5 m	Induction dans le Gap		0.265	T
nombre de spires		1 spire	Champ magn. H=B/uo		2.11E+05	A/m
Hauteur de chaque conducteur		20 mm	Courant nécessaire		4221	A
Largeur de chaque conducteur		3 mm	Valeur efficace du courant		4221	A
Résistivité du cuivre (1.72E-2		0.0172 mO.mm	densité de courant eff.		87.93	A/mm ²
module d'Elasticité (12500		12500 daN/mm ²	Résistance de l'aimant		1.20	mOhms
Forme de l'impulsion		DC	Inductance de l'aimant		4.52	uH
DC , 1/2 sinus : S , trapèze : T			Puissance dissipée		21.380	kW
CONTINU			Energie stockée		40	J
soit le taux de répétition						
					40	p en mm
					20	h en mm
					80	L en mm
					60	H en mm
% du conducteur pour refroidissement		25 %				
Elévation de température moy.admise		10 oC	Débit d'eau total		24.72	l/min
ex: AA avec dT =20 Temp.max=60oC			Débit dans chaque spire		24.72	l/min
			vitesse de l'eau (< 10m/s)		8.75	m/s
			pression différentielle necess.		46.00	bar
			Force septum /cond fond		100.74	daN
			Flèche max . septum (appui)		0.000	mm
			moment flech.max. (appui)		0.14	mm*daN
			contrainte maxi <5 (appui)		0.09	daN/mm ²
			Masse culasse (sans poutre)		52	kg
			longueur d'une spire		3.14	m
			section conduct. refroid.déduit		45	mm ²
			Section refroidissement		15	mm ²



20.7

3

$= 2.5 + 6 = 3.5 \text{ mrad}$. 3mm 4220A 0.265T Gap = 20mm
 $R = 0,6 \text{ mA}$ $L = 2,3 \mu\text{H}$

5

6mrad 5mm 4220A 0.265T Gap = 20mm
 $R =$ $L = 2,3 \mu\text{H}$

$l = 25 \text{ mrad}$

12.7mrad 10mm 2980A 0.42T Gap = 36mm

30

38mrad 25mm 2980A 1.25T Gap = 36mm

6mrad

12,6mrad

38mrad 25mm 2980A 1.25T
Gap = 36mm

$2,1 \times 38 = 79,8$

$20,7 + 3 + 30,6 + 46,5 + 62 + 133 + 79,8 = 375,6$

375.6

Zen serie : Alum I

3en serie

Alum II

M. THIVENT 13.07.92

EJECTION CLEAR

$875 \times 3,5 = 30,6$

$7,35 \times 6 = 46,5$

$4,9 \times 10,67 = 62$

$3,5 \times 38 = 133$

750

1750

4600

6000

7400

8750

4900

3500

2100

900

900

1200

800

1200

1200

30mrad