

LE FAISCEAU DU PS BOOSTER A 2 ENERGIES (MODE 5 PAQUETS)
MODULABLE DE CYCLE A CYCLE

J.P. Delahaye, G. Gelato

- I. Pourquoi un mode 5 paquets dans le PS ?
- II. Principe de formation des 5 superpaquets
- III. Différence d'énergie entre anneaux dans le Booster
- IV. Ajustage des énergies des anneaux correspondants
- V. Synchronisation, Ejection, Recombinaison
- VI. Conclusion : modifications à apporter au Booster

Références

I. POURQUOI UNE INJECTION AU PS EN MODE 5 PAQUETS ?

Ce mode spécial d'injection avait été pensé et prévu^{1,2,3)} dès la construction du Booster. Profitant de sa structure particulière en 4 anneaux, des principes avaient été formulés pour former dans le PS 5 superpaquets constitués chacun de 4 paquets individuels provenant chacun d'un anneau différent.

Les avantages principaux de ce mode sont :

- de multiplier instantanément par 4 le nombre de protons par paquet,
- d'augmenter les densités dans chacun des plans (horizontal, vertical et longitudinal) quelle que soit la méthode choisie pour la formation des superpaquets.

Initialement désirée par les ISR pour accroître leurs performances⁴⁾ cette structure particulière en 5 paquets est actuellement une méthode possible pour le remplissage du nouvel anneau d'Accumulation d'Antiprotons⁵⁾ dernièrement projeté dont la circonférence a été choisie pour cette raison égale à celle du Booster : le faisceau d'antiprotons produit est en effet d'autant plus intense que le nombre de protons incidents par unité de temps est élevé. Par contre les émittances du faisceau d'antiprotons sont pratiquement indépendantes de celles du faisceau incident de protons sur la cible.

II. PRINCIPE DE FORMATION DES 5 SUPERPAQUETS

Leur formation s'effectue en 2 étapes :

1. Addition dans l'espace de phase vertical de dix paquets deux à deux provenant de faisceaux d'anneaux différents. Cette méthode particulièrement adaptée dans la partie "Recombinaison" de la ligne de transfert a depuis été optimisée⁶⁾. Des séances spéciales d'études⁷⁾ ont depuis permis d'en vérifier pleinement le principe, d'en affiner les réglages et de permettre l'injection du PS d'une intensité supérieure à 10^{13} particules en 10 paquets.
2. Les 10 superpaquets ainsi formés sont assemblés ensuite deux à deux réduisant ainsi leur nombre à 5.

Deux méthodes ont pour cela été proposées :

- a) Injection en 2 tours dans le PS et addition dans l'espace de phase horizontal^{1,2,3)} : ce principe n'a pu être finalement retenu car il imposait de trop profondes modifications⁸⁾ de la géométrie à l'injection du PS.
- b) Injection à double énergie dans le PS et addition dans l'espace de phase longitudinal⁵⁾ : les deux groupes de 5 paquets sont injectés dans le PS après l'addition verticale (mode 10 paquets) précédente avec des énergies légèrement différentes sur leur orbite fermée correspondante. Contrôlés chacun par 2 poisons RF indépendants, leur différence de fréquence produit un mouvement relatif entre les deux groupes annihilant rapidement leur différence de position ($< \frac{1}{2}$ PS) ou phase dans l'espace longitudinal. Un troisième poison RF (de fréquence intermédiaire) peut alors les capturer simultanément et les accélérer jusqu'à 26 GeV.

3. Influence sur les qualités de faisceau

Le tableau suivant montre l'évolution comparative d'un mode à l'autre des qualités de faisceau :

Mode de travail (nombre de paquets)	Nombre de protons par paquet	Densité horizontale	Densité verticale	Densité longitudinale
20 p	N	$\frac{N}{\epsilon_H} = d_H$	$\frac{N}{\epsilon_V} = d_V$	$\frac{N}{\epsilon_L} = d_L$
10 p	2N	$\frac{2N}{\epsilon_H} = 2d_H$	$\sim \frac{2N}{3\epsilon_V} = 0,6d_V$	$\frac{2N}{\epsilon_L} = 2d_L$
5 p	4N	$\sim \frac{4N}{3\epsilon_H} = 1,3d_H$	$\sim \frac{4N}{3\epsilon_V} = 1,3d_V$	$\sim \frac{4N}{3\epsilon_L} = 1,3d_L$

Ainsi comme annoncé précédemment, les densités ne sont que légèrement augmentées dans chacun des 3 plans, le gain principal résidant dans le nombre de protons arrivant à un instant donné à l'utilisateur (ce qui est fondamental dans le cas de la production d'antiprotons).

III. DIFFERENCE D'ENERGIE ENTRE ANNEAUX BOOSTER

Cette différence est très importante pour fixer l'ordre de grandeur des modifications à apporter au Booster : elle est imposée par le mécanisme même de l'addition longitudinale dans le PS.

Elle doit être à la fois suffisamment élevée pour que les 2 poisons RF à fréquence différente ne se perturbent pas trop en se croisant et suffisamment petite pour que les émittances longitudinale et horizontale (due à la différence de position moyenne d'orbite) restent inférieures aux acceptances longitudinale et horizontale du PS.

1. Différence minimale d'énergie (ΔT)

Une étude théorique⁹⁾ des interférences entre poisons, corrigée ensuite par W. Hardt a montré que la différence de fréquence Δf devait être supérieure à 4 fois la fréquence de révolution synchrotronique f_s .

A l'injection au PS, dans les conditions normales de capture à 5 paquets (RF \sim 20 kV) :

$$f_s \sim 1,8 \text{ kHz} \quad f_{RF} = 8033,160 \text{ kHz}$$

$$\Delta f > 8 \text{ kHz}$$

Or à champ magnétique constant :

$$\frac{dp}{p} = \left(\frac{1}{\gamma^2} - \frac{1}{\gamma_{tr}^2} \right) \frac{df}{f} = (0,2913 - 0,0257) \times \frac{8 \times 20}{8033,160}$$

$$\frac{dp}{p} \geq 5,3 \cdot 10^{-3}$$

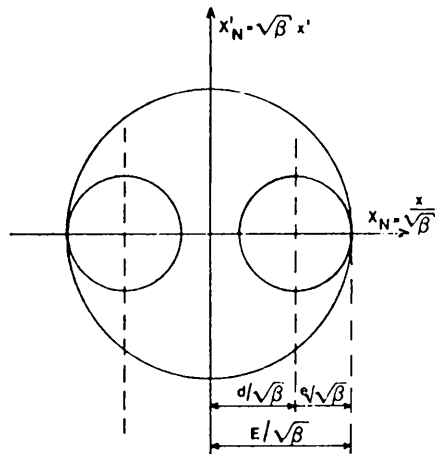
$$\frac{dT}{T} = (1 + \gamma^{-1}) \frac{dp}{p} = (1 + 0,5398) 5,3 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{dT}{T} \geq 8,1 \cdot 10^{-3}$$

$$T = 800 \text{ MeV} \longrightarrow \boxed{\Delta T \geq 6,52 \text{ MeV}}$$

2. Différence maximale d'énergie (ΔT)

Nous n'envisagerons ici que la limitation due à l'acceptance horizontale du PS : l'ensemble des 2 faisceaux espacés de la distance $2d$ et d'émittance $\epsilon \sim 30\pi$ ne doit pas dépasser l'acceptance A du PS ($\sim 80\pi$).



$$\frac{d}{\sqrt{\beta}} + \frac{\epsilon}{\sqrt{\beta}} \leq \frac{A}{\sqrt{\beta}}$$

$$\frac{d}{\sqrt{\beta}} + \sqrt{\epsilon} \leq \sqrt{A}$$

$$\boxed{d \leq \sqrt{\beta}(\sqrt{A} - \sqrt{\epsilon})}$$

$$A = 80\pi$$

$$\epsilon = 30\pi$$

$$\beta_{\text{minimum}} = 12$$

$$\boxed{d \leq 12 \text{ mm}}$$

Par sécurité pour permettre une oscillation de l'orbite fermée on doit prendre :

$$\left. \begin{array}{l} d < 10 \text{ mm} \\ \text{or } dR(\text{mm}) = 2,045 dT (\text{MeV}) \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{dT_{\text{maximum}} \leq 10 \text{ MeV}}$$

Ainsi par sécurité, toutes les modifications à apporter au Booster seront prévues comme si un décalage en énergie de ± 5 MeV par rapport à l'énergie habituelle de 800 MeV était toujours nécessaire.

IV. AJUSTAGE DES ENERGIES DES ANNEAUX CORRESPONDANTS

1. Principe

En mode 20 paquets, l'égalité en énergie des quatre anneaux est ajustée à l'éjection en imposant aux faisceaux une même fréquence de révolution (ou une même fréquence RF) sur une orbite de rayon R identique :

$$T = E_0 \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{2\pi Rf}{c}\right)^2} - 1 \right) .$$

Une variation d'énergie par rapport à cette énergie moyenne peut alors être obtenue par variation soit de la fréquence de révolution (par l'intermédiaire de la fréquence RF), soit du rayon moyen de l'orbite fermée (par l'intermédiaire d'enroulements de correction individuels par anneau du champ magnétique intégré de courbure), soit simultanément des deux paramètres précédents suivant la relation :

$$\frac{dT}{T} = \gamma(1 + \gamma) \left(\frac{df}{f} + \frac{dR}{R} \right) .$$

Compromis nécessaire : la variation de la position radiale moyenne doit rester limitée afin de sauvegarder l'acceptance horizontale dans le Booster ainsi que la possibilité de recombinaison des quatre anneaux. Par contre, elle ne peut être complètement annulée sans alors compliquer très fortement le transfert de poisson à poisson entre le Booster et le PS : en effet, les fréquences de révolution dans le Booster et le PS seraient alors différentes :

$$\text{dans le Booster : } \Delta R = 0 \quad \frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{\gamma^2} \frac{dp}{p}$$

$$\text{dans le PS : } \Delta B = 0 \quad \frac{\Delta f}{f} = \left(\frac{1}{\gamma^2} - \frac{1}{\gamma_{tr}^2} \right) \frac{dp}{p} .$$

2. Variation de fréquence

Les anneaux seront synchronisés sur une fréquence telle que leur différence engendre la différence d'énergie désirée dans le PS :

à B constant
$$\frac{df}{f} = \left(\frac{1}{1 + \gamma^{-1}} \right) \left(\frac{1}{\gamma^2} - \frac{1}{\gamma_{tr}^2 PS} \right) \frac{dT}{T}$$

3. Variation de position

La position radiale moyenne de l'orbite fermée sera changée dans chacun des anneaux de façon à ce que la fréquence correspondante de révolution soit identique à celle qu'il aura après injection dans le PS :

$$\frac{df}{f} = \frac{1}{\gamma^2} \frac{dp}{p} - \frac{dR}{R} = \frac{1}{\gamma^2} \frac{dp}{p} - \frac{1}{\gamma_{tr}^2 PS} \frac{dp}{p}$$

$$\boxed{\frac{dR}{R} = \frac{1}{\gamma_{tr}^2 PS (1 + \gamma^{-1})} \frac{dT}{T}}$$

4. Variation de champ magnétique intégré

Le courant dans les enroulements de correction ($\int B dl$) est ajusté de façon à modifier la position radiale moyenne de l'orbite de la valeur R précédemment calculée. Si, auparavant, les anneaux ont été synchronisés sur la fréquence définie ci-dessus, l'énergie des faisceaux est automatiquement imposée suivant la relation :

$$\begin{aligned} \frac{dB}{B} &= \gamma^2 \frac{df}{f} + (\gamma^2 - \gamma_{tr}^2 BR) \frac{dR}{R} \\ &= \left(1 - \frac{\gamma^2}{\gamma_{tr}^2 PS} \right) \frac{dp}{p} + \left(\frac{\gamma^2 - \gamma_{tr}^2 BR}{\gamma_{tr}^2 PS} \right) \frac{dp}{p} \end{aligned}$$

$$\boxed{\frac{dB}{B} = \left(\frac{1}{1 + \gamma^{-1}} \right) \left(1 - \frac{\gamma_{tr}^2 BR}{\gamma_{tr}^2 PS} \right) \frac{dT}{T}}$$

Application : la fig. 1 montre l'évolution des trois caractéristiques de réglage.

- f : fréquence RF de synchronisation
- B : champ magnétique de courbure
- R : position radiale moyenne de l'orbite fermée

en fonction de la variation d'énergie désirée autour des valeurs moyennes :

$$\begin{array}{llll} f = 8033,160 \text{ MHz} & & & \gamma_{800 \text{ MeV}} = 1,8526 \\ B = 5924,4 \text{ gauss} & \text{pour} & & \gamma_{\text{tr BR}} \sim Q_H \sim 4,23 \\ R = 25,000 \text{ mètres} & & & \gamma_{\text{tr PS}} \sim Q_H \sim 6,23 . \end{array}$$

Dans ce cas particulier, les lois de variation précédentes deviennent :

$$\begin{array}{ll} dF(\text{MHz}) & = 1,736 dT(\text{MeV}) \\ dB(\text{gauss}) & = 2,641 dT(\text{MeV}) \\ dR(\text{mm}) & = 0,511 dT(\text{MeV}). \end{array}$$

Sachant que le courant dans les enroulements de correction a une efficacité de 0,358 gauss/A :

$$I_{fBd1}(\text{A}) = 7,377 dT(\text{MeV}).$$

Ainsi (fig. 1) pour les variations maximales envisagées :

$$\begin{array}{l} \Delta T = \pm 5 \text{ MeV} \\ (\Delta c_p \sim \pm 6 \text{ MeV}) \end{array} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{ll} \Delta F & = \pm 8,678 \text{ kHz} \\ \Delta B & = \pm 13,2 \text{ gauss} \\ \Delta R & = \pm 2,55 \text{ mm} \\ \Delta I_{fBd1} & = \pm 36,88 \text{ A} . \end{array} \right.$$

5. Choix des anneaux

A cause de la simultanéité avec l'addition verticale, les anneaux 2 et 3 doivent avoir la même énergie, ainsi que les anneaux 1 et 4.

De plus, de façon (i) à réduire la distance dans le PS des 2 groupes de 5 paquets (et donc le temps nécessaire à leur recouvrement), (ii) à laisser une large plage de réglage au kicker d'injection au PS TIK, il est préférable d'associer l'énergie la moins élevée au groupe injecté le

premier : en effet la fréquence de révolution plus élevée du 2e groupe lui permettra de rattrapper rapidement le 1er. La distance entre les deux groupes pourra ainsi être réduite au minimum correspondant à la longueur d'un à deux paquets (soit un temps équivalent de 125 à 250 nsec).

L'anneau 3 devant être obligatoirement le 1er injecté (à cause des kickers de recombinaison à temps de montée rapide), on associera de préférence :

l'énergie la moins élevée aux anneaux 3 et 2
l'énergie la plus élevée aux anneaux 1 et 4.

6. Egalisation de la fréquence de révolution

Les 2 groupes de 5 paquets à énergie différente sont capturés dans le PS par 2 groupes de cavités accordés chacun sur la même fréquence RF que celle imposée à l'éjection Booster aux anneaux correspondants par la synchronisation.

Pendant le processus de capture et de glissement (~ 1 msec) la fréquence des cavités ne peut être corrigée par une boucle de phase et reste fixe : la fréquence de révolution doit donc être exactement 4 fois plus élevée dans le Booster (harmonique 5) que dans le PS (harmonique 20). Les mesures⁷⁾ ont montré que cette condition ne pouvait être remplie en gardant les faisceaux à même énergie au centre dans les 2 machines, leurs rayons n'étant pas exactement dans un rapport 4 :

$$R_{PS} = 4R_{BR} + 6 \text{ mm.}$$

Afin de sauvegarder l'acceptance horizontale du PS à l'injection on a tout intérêt à garder centré le faisceau dans le PS et le décentrer de + 1,5 mm dans le Booster :

$$\frac{\Delta R}{R} = + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{25} = + 6 \cdot 10^{-5} .$$

A même énergie cette variation de position (dans le Booster) :

a) est produite par une variation de champ magnétique (dans le Booster)

$$\frac{\Delta p}{p} = 0 = \gamma_{tr}^2 \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta B}{B}$$

$$\frac{\Delta B}{B} = - \gamma_{tr}^2 \frac{\Delta R}{R} = - 16,25 \times 6.10^{-5} = - 9,75 \cdot 10^{-4} .$$

$$\Delta B = - 5924,4 \times 9,75 \cdot 10^{-4} = 5,78 \text{ gauss} .$$

Le champ moyen à l'éjection devient

$$B = 5918,6 \text{ gauss} .$$

Les aimants principaux produisant un champ de 2,148 gauss/A, le courant à l'éjection dans les aimants de courbure doit être diminué de - 2,7 A passant ainsi de

$$I_{\text{principal}} = 2758,1 \text{ A} \quad \text{à} \quad I_{\text{principal}} = 2755,4 \text{ A} .$$

b) correspond à une variation de fréquence (dans le PS et le Booster)

$$\frac{\Delta p}{p} = 0 = \gamma^2 \frac{\Delta f}{f} + \gamma^2 \frac{\Delta R}{R}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = - \frac{\Delta R}{R} = - 6.10^{-5}$$

$$\Delta f = - 8033160 \times 6.10^{-5} = - 482 \text{ Hz} .$$

La fréquence moyenne de synchronisation devient

$$f = 8032678 \text{ Hz} .$$

7. Résumé des paramètres de réglage

Les décalages en énergie par champ magnétique grâce aux $\int B dl$ et par fréquence de synchronisation se feront alors symétriquement par rapport au champ et à la fréquence moyenne imposée par la correction due à la fréquence de révolution dans le Booster et le PS suivant le tableau ci-dessous établi dans le cas du mode 5 paquets pour la variation maximale d'énergie.

Mode	Anneaux	T(MeV)	F _{RF} (kHz)	B(gauss)	I _{principal} (A)	I _{fBd1} (A)	ΔR(mm)
20 ou 10 paquets	4	800	8033,160	5924,4	2758,1	- 4,5	0
	3					0	0
	2					- 1	0
	1					+ 1	0
correction de la fréquence de révolution	4	800	8032,678	5918,6	2755,1	- 4.5	+ 1,5
	3					0	+ 1,5
	2					- 1	+ 1,5
	1					+ 1	+ 1,5
5 paquets	4 + 1	805	8041,356	5931,8	2755,1	+ 36,9 + I _{20p}	+ 4,05
	3 + 2	795	8024,000	5905,4		- 36,9 + I _{20p}	- 1,05

V. SYNCHRONISATION - EJECTION - RECOMBINAISON

1. Synchronisation

Le transfert à deux énergies implique du point de vue RF :

- la synchronisation des anneaux par paire à 2 fréquences
- la synchronisation des kickers (éjection et recombinaison) de chaque anneau sur la fréquence correspondante
- la capture dans le PS des cinq paquets de chacun des 2 groupes
- la recapture des 10 paquets (après superposition 2 à 2) dans 5 poissons à la fréquence moyenne.

Les points a et b concernent le Booster, le point c concerne le PS mais le Booster doit fournir pour cela les deux fréquences, le point d concerne uniquement le PS si la méthode préconisée par D. Bussard¹⁰⁾ ne nécessitant pas la fourniture par le Booster de la fréquence intermédiaire s'avère suffisante. Les solutions prévues au Booster sont basées sur cette hypothèse déjà vérifiée lors des études⁷⁾.

Synchronisation des anneaux :

En mode 20 et 10 paquets, les 4 anneaux sont synchronisés en fréquence

et en phase sur le même oscillateur à la fréquence f_0 .

En mode 5 paquets, cette synchronisation se fait par paires de 2 anneaux (2-3 et 4-1) sur deux oscillateurs différents :

dont les fréquences f_1 et f_2 sont symétriques par rapport à une fréquence f_0' décalée de f_0 par rapport à la fréquence f_0 du mode 20 paquets.

$$\text{Anneaux 4 et 1} : \Delta f_1 = f_0 + \Delta f_0 + \Delta f_1$$

$$\text{Anneaux 3 et 2} : \Delta f_2 = f_0 + \Delta f_0 + \Delta f_2$$

$$\Delta f_0 \sim -4 \text{ à } 500 \text{ Hz} \quad \Delta f_1 = -\Delta f_2 = 0.5 \text{ à } 10 \text{ kHz.}$$

dont les phases sont quelconques l'une par rapport à l'autre. En effet, avec une aussi faible différence de fréquence (~ 100 kHz) le temps d'attente du synchronisme en phase introduirait un jitter du moment d'injection dans le PS (de ~ 100 μ sec) lequel se traduirait par un jitter du rayon moyen de l'orbite d'équilibre à l'injection (de ~ 1 mm).

dont les précisions sont égales à celles déjà définies pour le mode 20 paquets

$$\Delta f = \pm 80 \text{ Hz} \quad \Delta f/f = \pm 1.10^{-5}.$$

De plus le mode de synchronisation doit être commutable d'un cycle à l'autre suivant les lignes de programme.

Synchronisation des kickers :

Les délais de déclenchement des kickers calés actuellement sur la seule RF existante devront alors être calés sur la RF de l'anneau correspondante : en effet, le déphasage entre fréquence peut être quelconque, par contre le kicker doit obligatoirement être déclenché entre 2 paquets afin de ne pas les perturber; la précision de ce déclenchement est de ± 5 nsec maximum en temps correspondant à $\pm 15^\circ$ en phase.

2. Ejection

L'éjection est identique au mode 20 paquets avec pour seule différence

les positions moyennes des orbites qui ne sont plus centrales mais décalées à + 4 mm dans les anneaux 1 et 4 et à - 1 mm dans les anneaux 2 et 3.

Les dipôles de correction d'orbite à l'éjection E_iH,V 01 et 02 normalement utilisés pour annihiler les différences entre anneaux de position et d'angle de l'orbite à l'entrée du septum d'éjection serviront alors en sus à compenser les différences d'orbite moyenne.

Leur force devra donc être suffisante pour cette correction supplémentaire, leur valeur ainsi que leur signe pouvant être modulés d'un cycle à l'autre.

3. Recombinaison

La position et l'angle horizontaux de la trajectoire des faisceaux issus de chacun des anneaux doivent être centrés au point d'injection PS. Les dipôles TDH1 individuels par anneau placés de manière optimale à l'entrée de la recombinaison et juste derrière une pick-up d'observation permettent de réajuster la direction horizontale de chacun des faisceaux pour compenser la dispersion due à la différence d'énergie dans les "bending" TES et TBH entre les points d'éjection BR et d'injection PS.

La matrice horizontale entre ces 2 points étant

$$\begin{vmatrix} X \\ X' \\ 100 \Delta p/p \end{vmatrix}_{\text{Inj P}} = \begin{vmatrix} -1,535 & +1,328 & -23,281 \\ 0,059 & -0,702 & +2,579 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ X' \\ 100 \Delta p/p \end{vmatrix}_{\text{Ej P}}$$

à 800 MeV $\frac{\Delta p}{p} = \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{\Delta T}{T} = 0,649 \frac{\Delta T}{T} = 8,1 \cdot 10^{-4} \Delta T$

à l'injection PS $\Delta X(\text{mm}) = -23,3 \times 8,1 \cdot 10^{-2} \Delta T = -1,9 \Delta T(\text{MeV})$

$\Delta X'(\text{mrad}) = -2,6 \times 8,1 \cdot 10^{-2} \Delta T = +0,2 \Delta T(\text{MeV})$

pour $\Delta T = \pm 5 \text{ MeV} \rightarrow \Delta X_{Ip} = \pm 9,5 \text{ mm}$
 $\Delta X'_{Ip} = \pm 1 \text{ mrad}$

ce qui introduirait un grossissement horizontal considérable dans le PS.

VI. CONCLUSION : LES MODIFICATIONS A APPORTER AU BOOSTER

On a pu définir la méthode de réglage du Booster assurant ce nouveau mode d'opération et qui permet en modulation de cycle à cycle la préparation des faisceaux conduisant dans le PS à 5 paquets contenant la totalité de l'intensité du Booster.

Dans cette note seuls les réglages et les modifications à apporter au Booster ont été définis.

Leur réglage est résumé par le tableau du paragraphe IV.7.

Leur opération (en mode "Pulse-to-Pulse Modulation) nécessite les modifications suivantes :

Elements	Nombre	Modifications	Remarque
Alim. principale	1	Modulation du courant I_2 du palier à 800 MeV	Egalisation fréquence de révolution BR-PS
Synchronisation	1	Génération et réglage des 2 fréquences Association aux anneaux correspondants Distribution 2 fréquences au MCR + Central Building	} en PPM suivant ligne de Prog.
Timing kickers	-	Compteurs RF Drift stabilizer	
f_{Bd1}	5	Courant max. augmenté à 50A Changement de signe modulable	} en PPM suivant ligne de Prog.
$E_{;H 1,2}$	8	Correction augmentée de 5 mm (plan H) Changement de signe modulable	} en PPM suivant ligne de Prog.
TDH 1	4	Remplacement culasse massive par laminée Remplacement alim. continue par pulsable Changement de signe modulable	} en PPM suivant ligne de Prog.

Ces modifications propres au mode d'injection à double énergie se rajoutent à celles déjà prévues pour le mode 10 paquets⁶⁾. Les principes et la réalisation de l'ensemble de ces travaux seront traités dans une note séparée¹¹⁾, le but de cette note n'étant que de définir dans le Booster la méthode ainsi que les paramètres à moduler et leurs principales caractéristiques (précision, gamme de variation, ...) pour permettre l'injection à double énergie dans le PS modulable de cycle à cycle avec les modes 20 et 10 paquets.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont tout particulièrement à D. Boussard et P. Lefèvre qui ont su définir les caractéristiques du faisceau à l'injection ainsi qu'à R. Cappi et J.P. Riinaud pour l'intérêt porté aux études machines qui ont permis de vérifier la méthode présentée dans cette note.

Distribution :

Groupe BR

Equipe 800 MeV

D. Boussard, R. Cappi, G. Plass

REFERENCES

1. A.E. Ball, R. Billinge, Beam optics for the transfer from the Booster to the PS, MPS/Int. MA/B 67-24.
2. C. Bovet, Further thoughts on the transfer from Booster to PS, SI/Note DL/68-6.
3. E. Weisse, Optics of the Booster PS transfer system, SI/Note MAE/69-5.
4. C. Bovet, E. Keil, ISR performance related to PS injection schemes.
5. Design study of a $p\bar{p}$ colliding beam facility, PS/AA 78-3.
6. J.P. Delahaye, La recombinaison verticale en mode 10 paquets modulable de cycle à cycle, CERN/PS/BR 78-5.
7. E. Brouzet, K. Schindl, Compte rendu no. 60 des séances d'études au PS et BR, PS/OP/BR Note 78-3.
8. P. Lefèvre, communication privée.
9. F.E. Mills, Stability of phase oscillations under two applied frequencies, BNL Int. Report AADD 176 (1971).
10. D. Boussard, Procédure de recombinaison par glissement de fréquence à 800 MeV (communication privée).
11. J.P. Delahaye, Les modifications du Booster pour l'anneau A-A : descriptif, spécifications, calendrier, CERN/PS/BR 78-12.

FIG. 1 - Variation de la fréquence de synchronisation, de la position moyenne de l'orbite d'équilibre et du champ magnétique à l'éjection en fonction du décalage en énergie.

