



*Essai d'injection
dans un secteur du LHC
en Novembre 2006*

**M. Lamont AB/OP,
D. Forkel-Wirth, H. Vincke SC/RP**

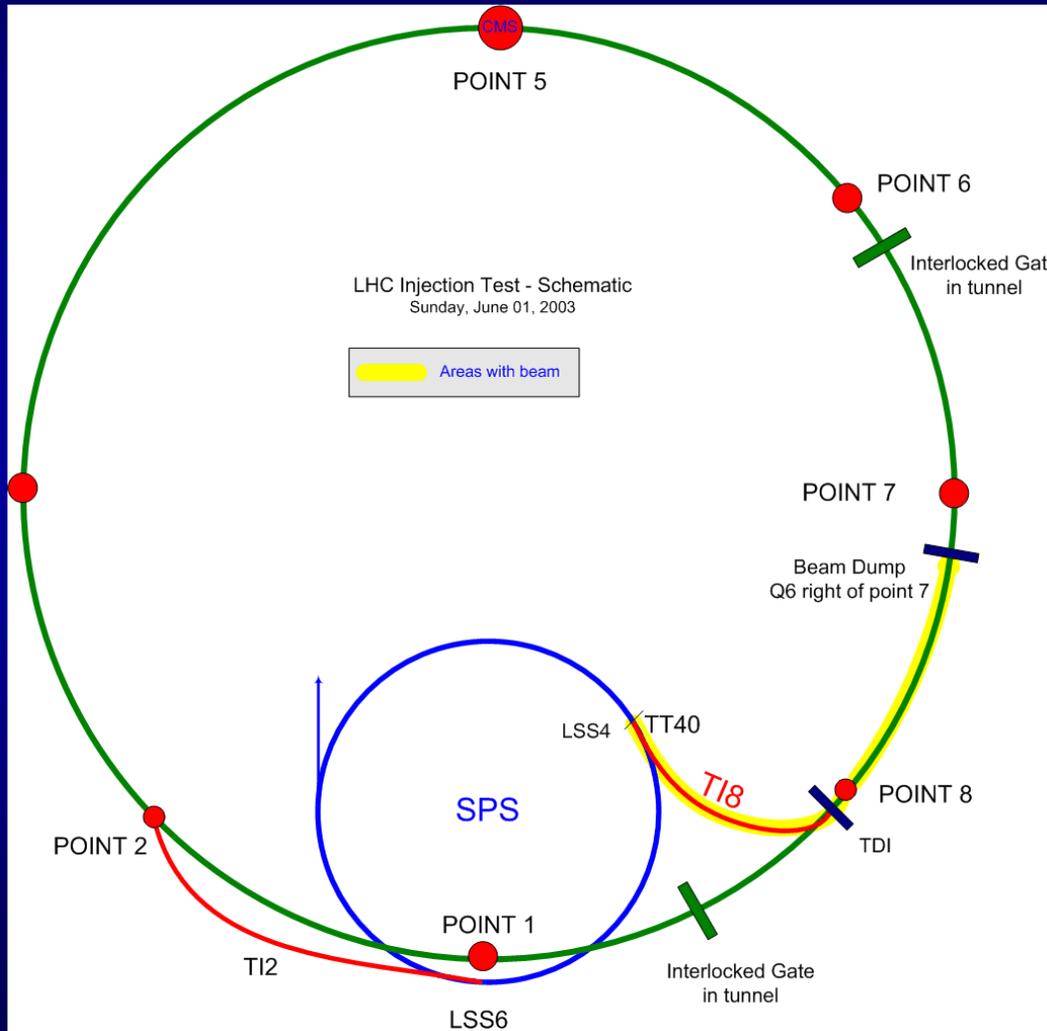
présenté par G. Roy

« Description du point de vue de la sûreté des essais d'injection dans le LHC »

- **Ce document a pour objet la description des tests d'injection dans le secteur 7-8 du LHC que le CERN souhaite réaliser en novembre prochain, et la description des dispositions afférentes qui seront prises en matière de sûreté.**
- **Seules les mesures dérogeant aux dispositions prévues dans le cadre du *Rapport provisoire de sûreté* sont abordées dans ce document.**

Essai d'injection LHC

Approuvé par la Direction du CERN - 2 semaines en Nov./Déc. 2006



3.3 km du LHC y compris une insertion d'expérience et un arc complet

proton restart for LHC sector test only

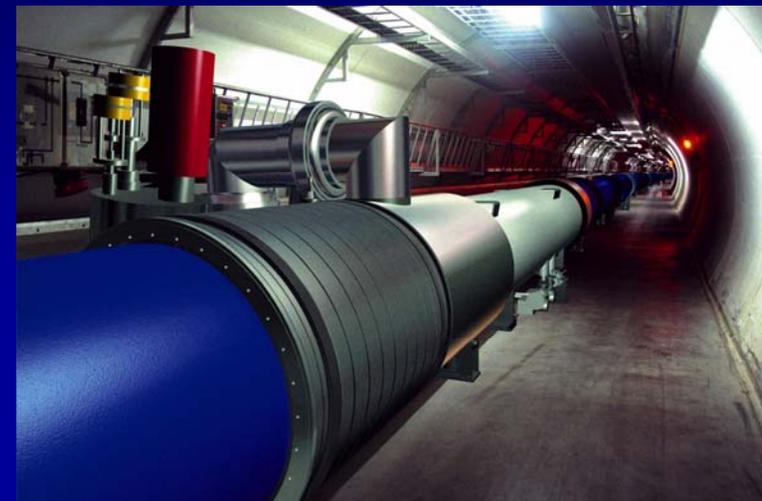
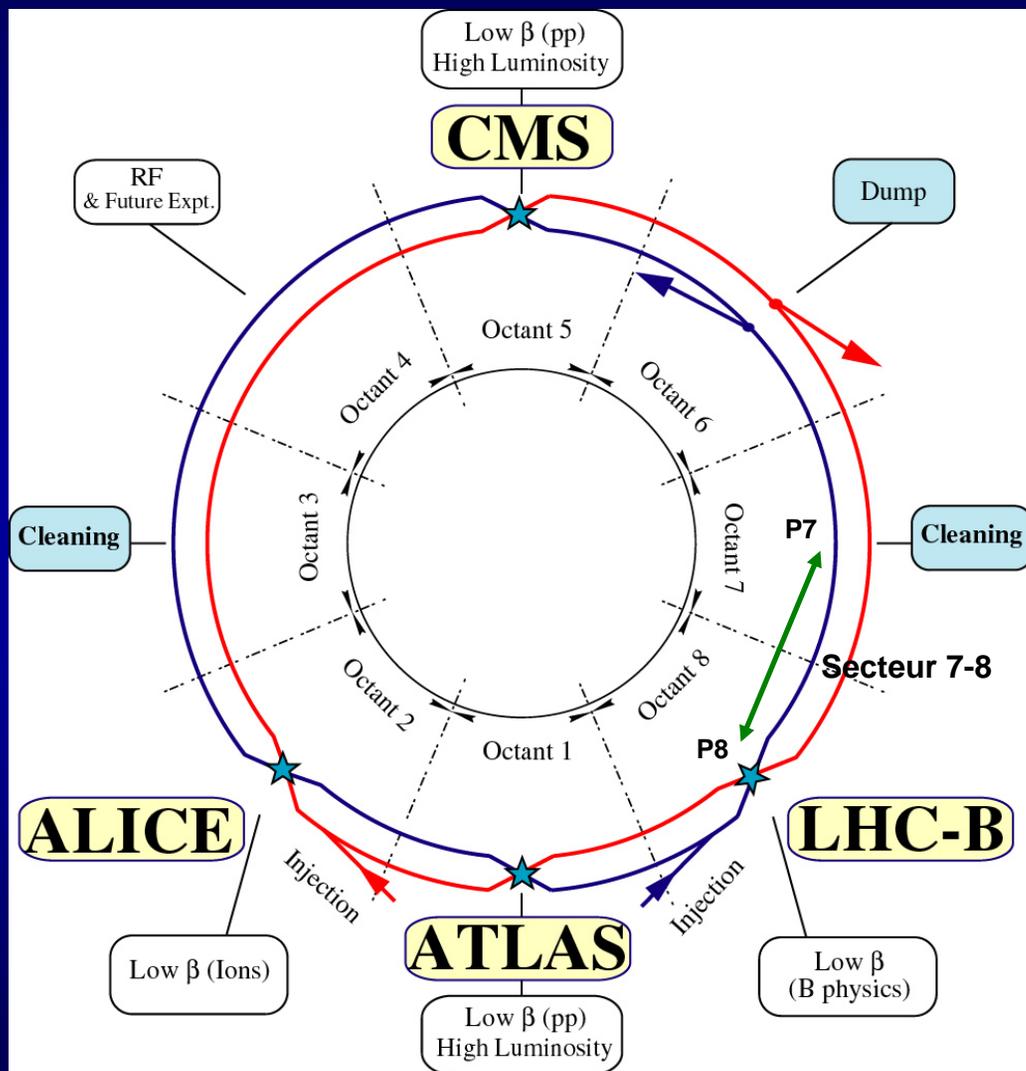
CTF stop

SPS 25 ns operation with reduced cycle length

Dec

46	47	48	49	50	51	52
13	20	27	4	11	18	25
		LHC sector test	LHC sector test	Cooldown period		
	T18 tests					
&SPS						
by						

Description des installations



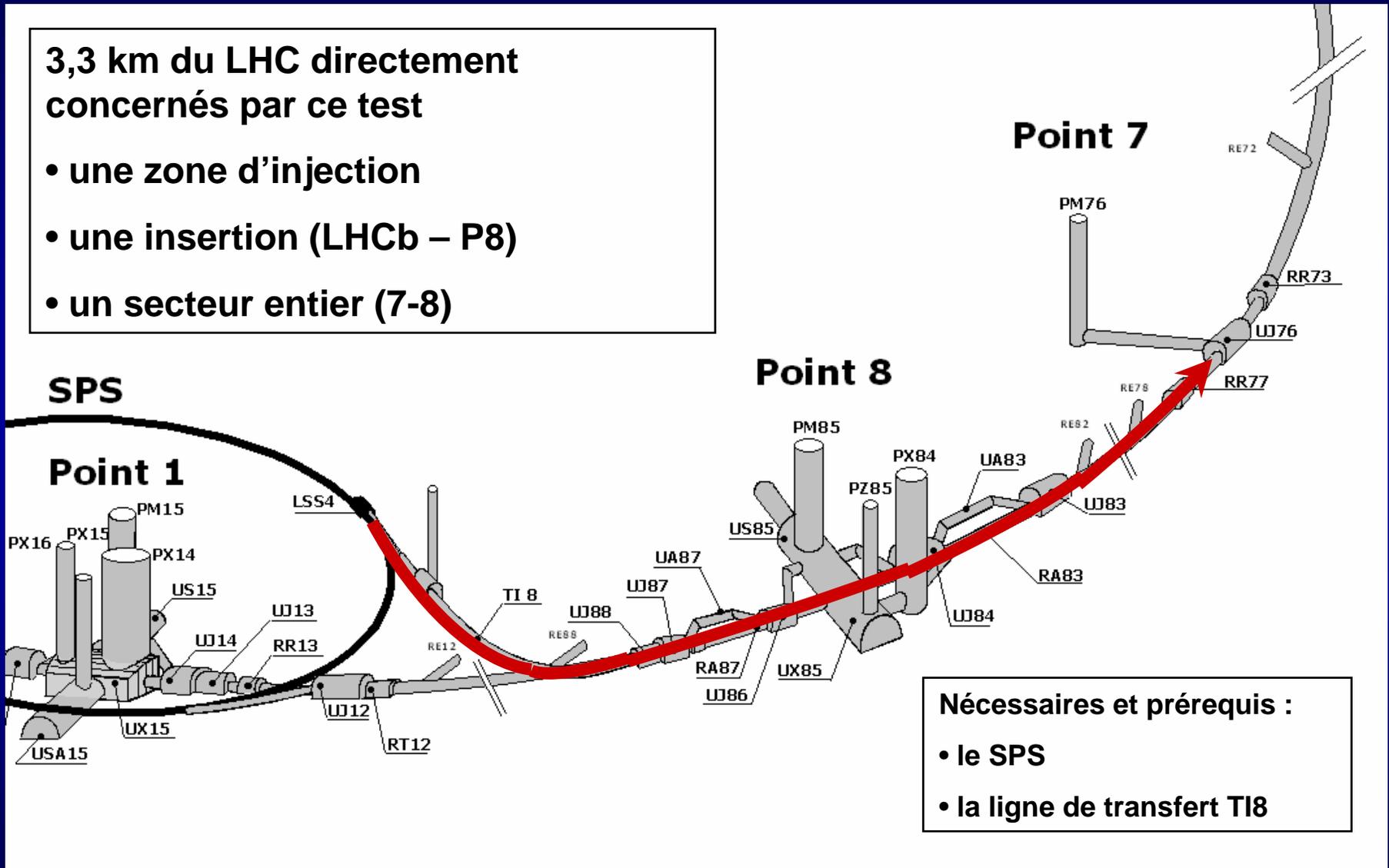
Éléments de spécification du LHC :

- 2808 paquets par faisceau
- $1,15 \times 10^{11}$ protons par paquet
- $3,23 \times 10^{14}$ protons par faisceau
- luminosité $\approx 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Description des installations

3,3 km du LHC directement concernés par ce test

- une zone d'injection
- une insertion (LHCb – P8)
- un secteur entier (7-8)



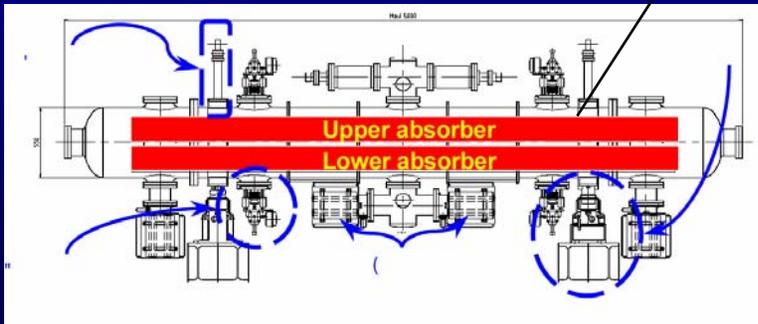
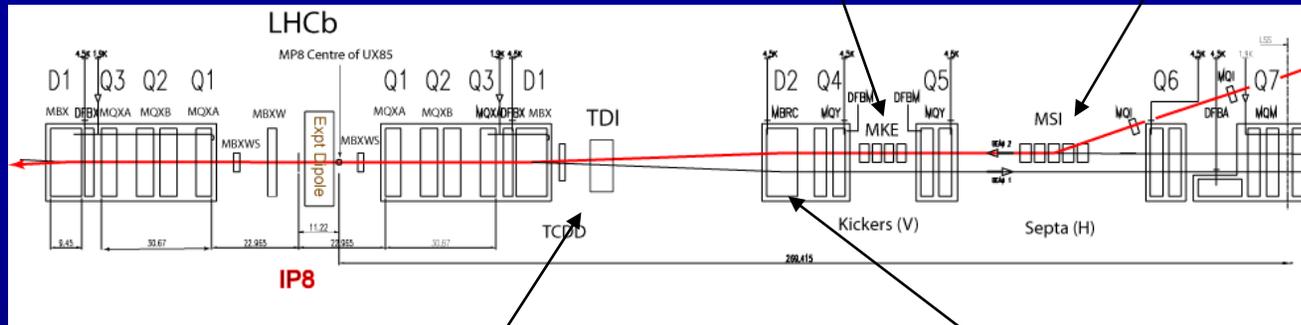
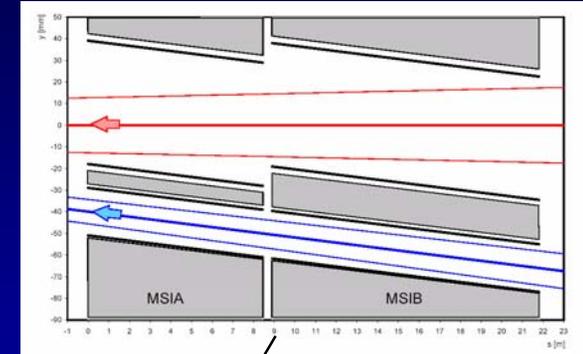
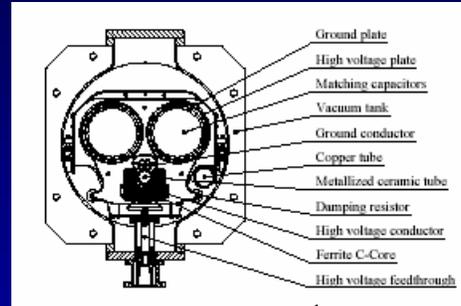
Nécessaires et prérequis :

- le SPS
- la ligne de transfert TI8

Éléments Clefs : Zone d'injection

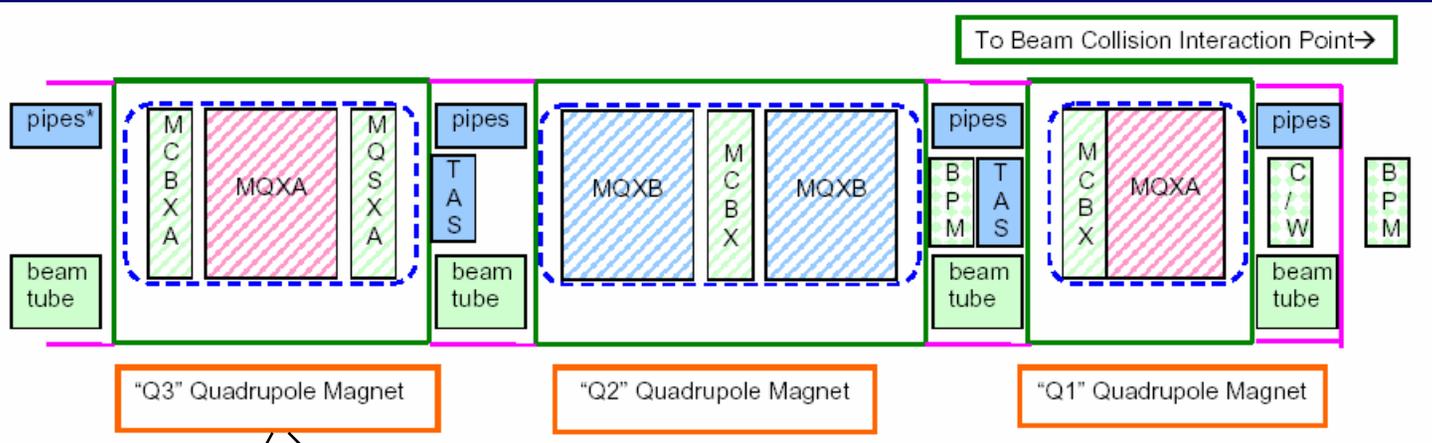
Autour du Point 8

- Partie basse de T18
- Aimants septa
- Déflecteurs pulsés (kickers)
- Absorbeur d'injection (TDI)
- Collimateur (TCDD)
- Aimants D2 D1

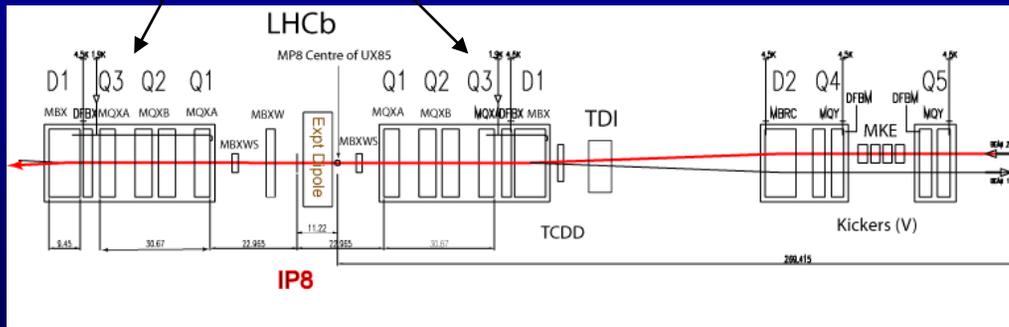


Éléments Clefs : Insertion

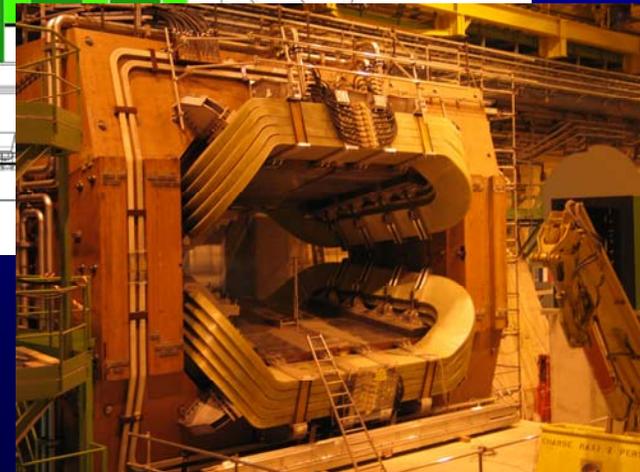
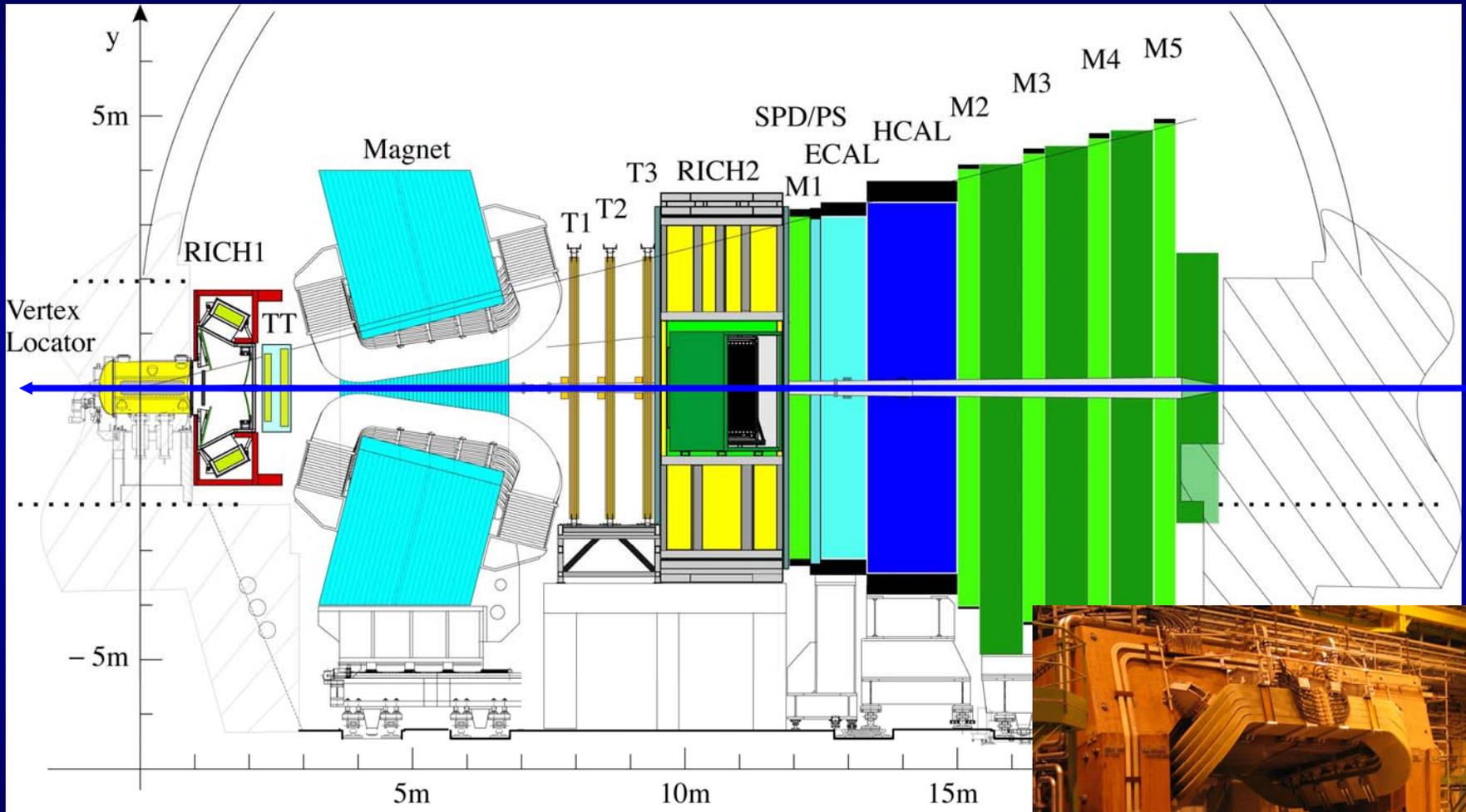
Triplet de focalisation, gauche et droite du Point 8 :



X 2



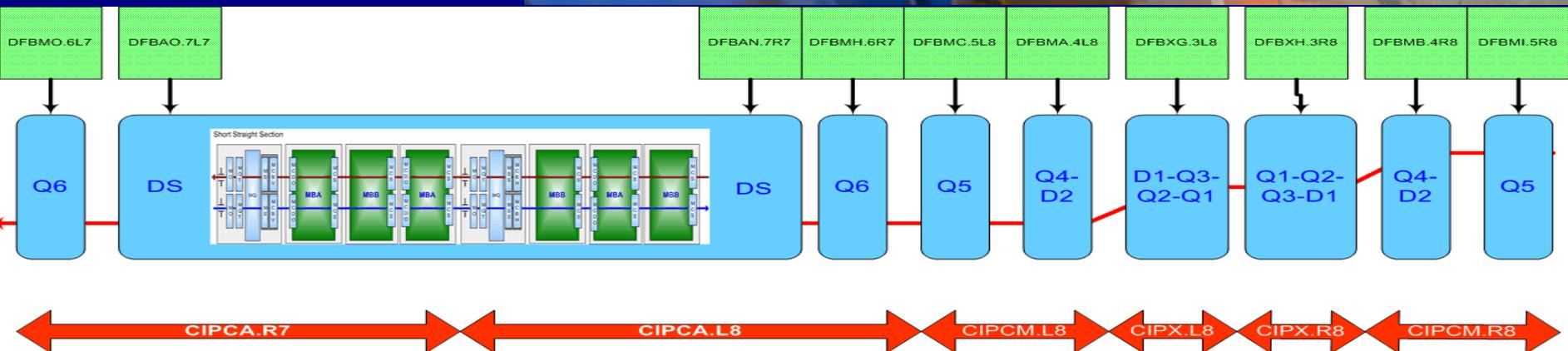
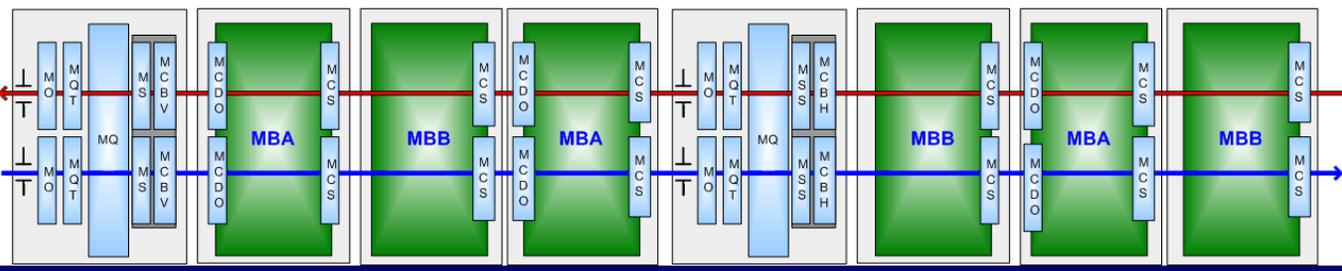
Éléments Clefs : LHCb



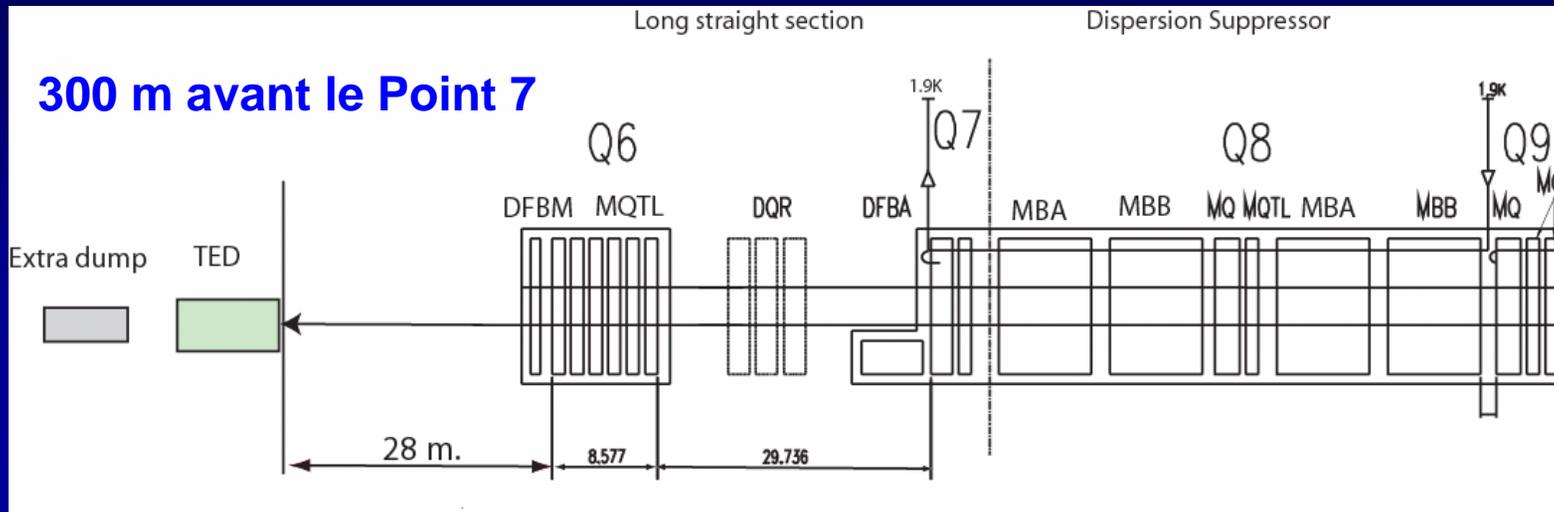
Cellule, 23 fois

Éléments Clefs :

ARC 7-8



Éléments Clefs : IR7 et TED



Équipements temporaires pour le test

- **Chambre à vide de liaison**
- **Absorbeur de faisceau (TED)**
- **Blindage en aval du TED**
- **Moniteurs de Radiation**
- **Instrumentation de faisceau spécifique autour TED**
 - **Mesure de courant de faisceau**
 - **Écran de visualisation faisceau**

Motivations : Intégration

- **S'assurer de la bonne intégration et du bon fonctionnement de tous les systèmes distribués (contrôle, correction, protection, câblage...)**
- **La phase préalable de mise en service sans faisceau (Hardware Commissioning ou Machine Check Out) permet de repérer un certain nombre de problèmes mais essentiellement sur les systèmes individuels.**
- **Le faisceau est le lien qui relie tous les systèmes ensemble.**
- **Détecter ce qui n'est pas optimal pour éventuellement apporter des mesures correctives sur les équipements des sept autres secteurs qui seront en cours d'installation.**

Motivations : Faisceau témoin

- **Un faisceau est le meilleur outil disponible, et le seul totalement fiable, pour mesurer certains paramètres d'un accélérateur.**

Par exemple:

- **S'assurer que la chambre dans laquelle circulent les faisceaux est libre de toute obstruction et a les bonnes dimensions, i.e. une bonne ouverture.**
- **Analyser les champs magnétiques des divers aimants qui se trouvent sur la trajectoire.**

Motivations : Jalon

- **A ce jour, plus de dix ans après le lancement du projet, aucun aimant n'a encore été traversé par un faisceau de protons !**
- **Fournir un jalon significatif et marquant sur un échéancier de projet s'étalant sur plus d'une décennie.**

Faisceau et Disponibilité

- **Essentiellement un paquet pilote @ 5 - 10 10^9 protons**
 - juste au dessus de la sensibilité des moyens de diagnostics,
 - inférieure au seuil de transition résistive si la perte est répartie sur plus de 5m,
 - deux ordres de grandeur inférieure au seuil d'endommagement des aimants.
- **Environ 4000 tirs venant du SPS via TI8 à 450 GeV**
- **Intensité intégrée attendue dans le secteur en test:**
 - **3 x 10^{13} protons à 450 GeV**
 - **Le TED n'est pas le facteur limitant**
- **Hypothèse d'une efficacité d'exploitation de plus de 60%**
 - Préparation pour 9 jours de faisceau, pour 14 jours calendaires.
 - Optimiste compte tenu du défi que ce test représente,
 - mais si tout va bien le test finira en avance

Déroulement du test d'injection

Test	Priority	Duration [hours]	Intensity	Number of shots	Integrated Intensity	Comments
End T18, Injection Steering, commission screens, IBMS, timing	1	24	5.00E+09	500	2.50E+12	TDI in, protecting LHCb
Trajectory acquisition commissioning, trajectory correction, threading, check energy matching	1	24	5.00E+09	500	2.50E+12	To beam dump (TED)
Linear Optics from kick/trajectory, coupling, BPM polarity checks, corrector polarity checks	1	12	1.00E+10	400	4.00E+12	
Commission & calibrate BLM system	1	24	5.00E+09	500	2.50E+12	First to TDI
Aperture limits, acceptance	1	24	5.00E+09	1000	5.00E+12	Pi bumps, BLMs, BCT
Momentum aperture	1	6	5.00E+09	100	5.00E+11	Move energy of SPS beam
IR bumps, aperture, separation, crossing angle bumps [LHCb?]	2	6	5.00E+09	100	5.00E+11	Careful in LHCb
Commission normal cycle - recheck dispersion, optics, aperture	2	24	5.00E+09	300	1.50E+12	Cycle & wait
Energy offset versus time on FB	2	12	5.00E+09	100	5.00E+11	Cycle & repeat
Effects of magnetic cycle, variations during decay, reproducibility	2	24	5.00E+09	300	1.50E+12	10 cycles
Field errors	2	6	3.00E+10	100	3.00E+12	Collect data, off-line analysis
Multi-bunch injection - determination of quench level	2	12	2.00E+11	10	2.00E+12	10 quenches (maximum - start with pilot and work slowly up...)
Injection protection studies - TDI/TCLI/TCDI	2	12	5.00E+09	200	1.00E+12	
TOTAL		210		4110	2.70E+13	
DAYS		8.8				

Contrôle et verrouillage

- **But évident de minimiser les pertes de faisceau, et donc n'utiliser le faisceau que lorsque c'est nécessaire, et à condition de connaître sa destination finale.**
- **Contrôle de l'extraction du SPS (1) :**
« LHC Beam Interlock Controller »
 - **Le faisceau n'est extrait du SPS que lorsque le LHC est prêt à le recevoir.**
- **BIC surveille les équipements sensibles ou nécessaires**
 - **Moniteurs de perte de faisceau**
 - **Moniteurs de radiation aux grilles inter-verrouillées**
 - **Convertisseurs de puissance**
 - **Système de sûreté d'accès (LASS)**
 - **Système vide...**

Contrôle et verrouillage

- **Contrôle de l'extraction du SPS (2) : « Safe Beam Flag »**
 - Le faisceau n'est extrait du SPS que si son intensité est suffisamment basse.
- **Déjà testé au SPS : Verrouillage de l'extraction sur la base de l'intensité circulante pour éviter l'extraction d'un faisceau trop intense.**
- **Contrôle de l'extraction du SPS (3) :**
 - Le faisceau n'est extrait du SPS que sur une demande explicite de l'opérateur. (Addition au système de contrôle)

Sécurité Générale

- **Pas de risque supplémentaire par rapport au fonctionnement normal du LHC (voir RpS)**
- **Tous les systèmes de sécurité générale sont déjà requis pour la phase de « mise en service équipements » (HWC) et seront donc en place pour le test d'injection**
 - **Détection incendie**
 - **Détection manque d'oxygène**
 - **Système d'appel d'urgence**
 - **Système d'évacuation (et alarme de faisceau imminent)**
 - **Arrêt d'urgence général**
 - **...**
- **Évacuation (patrouille) des zones concernées et contrôle d'accès en place pendant les essais d'injection dans le LHC.**

Contrôle d'Accès

Objectif : Tester et utiliser le système d'accès (LASS et LACS) dans une configuration aussi proche que possible de la configuration finale

- **EIS-faisceau concernés en configuration nominale**
- **EIS-accès concernés autant que possible en configuration et implantation nominales**

Étape majeure pour le système d'accès du LHC

- **Chaînes d'inter verrouillage**
- **Architecture déployée**
- **Accès pendant la période de test**
- **Dispositions finales**

Chaînes d'inter verrouillage

	Chain	Description	Beam destination
LHC	Chain 1 Circulating beams	Pas Nécessaire	
	Chain 2 Injected Beam Point 2	Pas Nécessaire	
	Chain 8 Injected Beam Point 8	Prevents the beam from being injected into the LHC at Point 8 REQUISE et en configuration nominale	TED at bottom of TI8
SPS	Chain 3 Transfer TI8	Prevents the beam from being transferred down TI8 REQUISE et en configuration nominale	TBSE at top of TI8
	Chain 5 Transfer TI2	Pas Nécessaire	

Topologie et Architecture

- **Zone de test limitée aux points 8 et 7 du LHC**
- **Modalités temporaires pour les portes intersites des secteurs 8-1 et 7-6**
- **Déploiement:**
 - **LASS/LACS complet au Point 8**
 - **LASS/LACS complet au Point 7**
 - **LASS en salle de contrôle**
(PLC master configuré pour la zone de test, console de sûreté, console de changement des modes d'accès)
 - **Application LACS de supervision des accès en salle de contrôle**

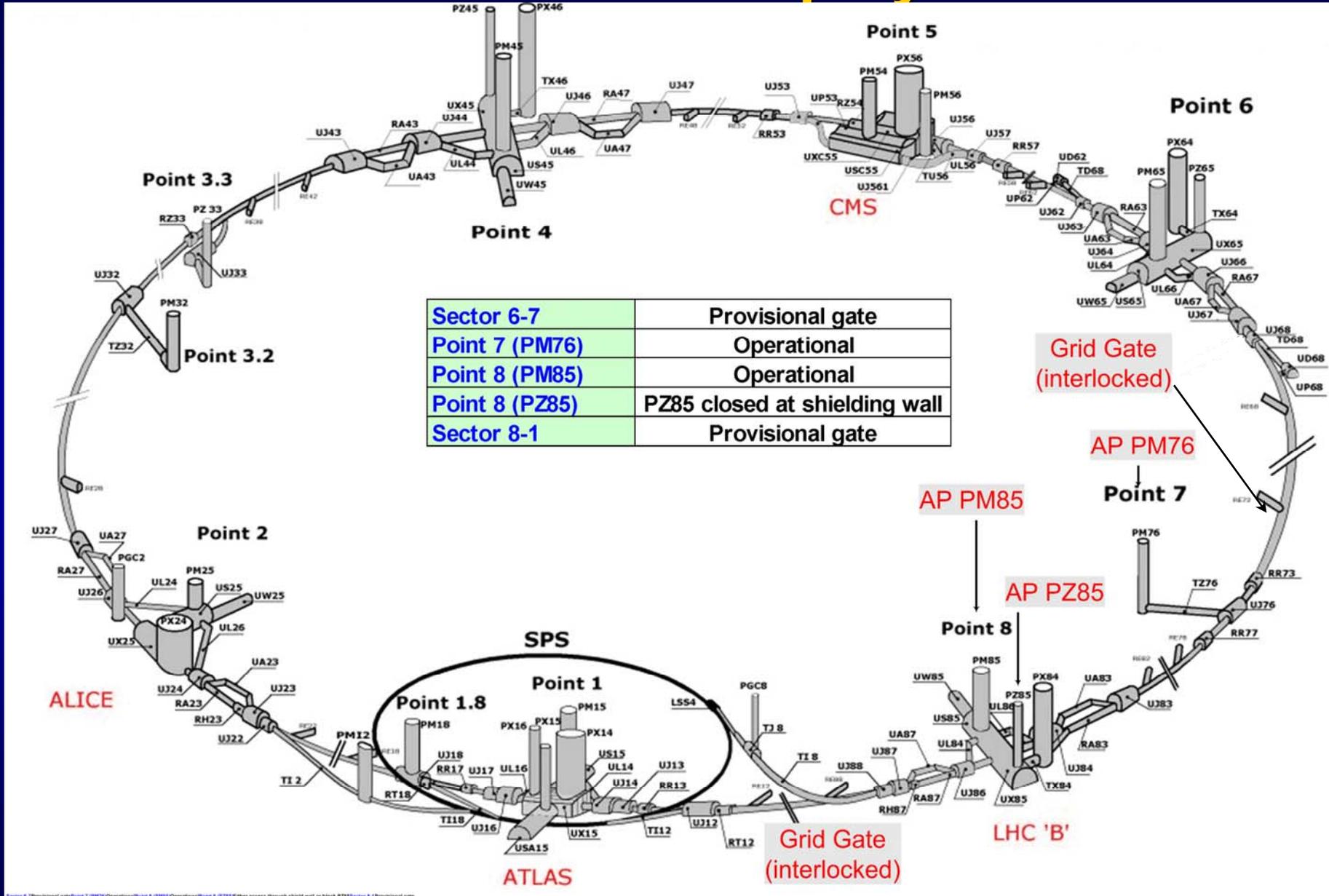
Zone de test : Point 8

- **Portes, grilles, blindages et points d'accès installés en position nominale et opérationnels.**
- **SAUF porte intersite 8-1 :**
 - installée temporairement a quelques centaines de mètres dans l'arc 8-1
 - connectée au LASS au Point 8 seulement
 - déjà placée pour le test Tl8 en 2004
- **Accès aux zones machine par le PM85**
- **Accès à LHCb par le PA en UX85 (via PZ85)**
- **Tous secteurs de patrouille configurés**

Zone de test : Point 7

- **Portes, grilles, blindages et points d'accès installés en position nominale et opérationnels.**
- **SAUF porte intersite 7-6 :**
 - installée temporairement a plus de 800 m dans l'arc 7-6
 - connectée au LASS au Point 7 seulement
- **Pas d'accès par le PM76**
- **Accès au Point 7 via le PM85 et le secteur 7-8**
- **Tous secteurs de patrouille configurés**

Architecture déployée



Source: 6/Provisional gate/Point 7 (PM76)/Operational/Point 8 (PM85)/Operational/Point 8 (PZ85)/Other access through shield wall or block PZ85/Sector 8-1/Provisional gate

Accès : dispositions après le test

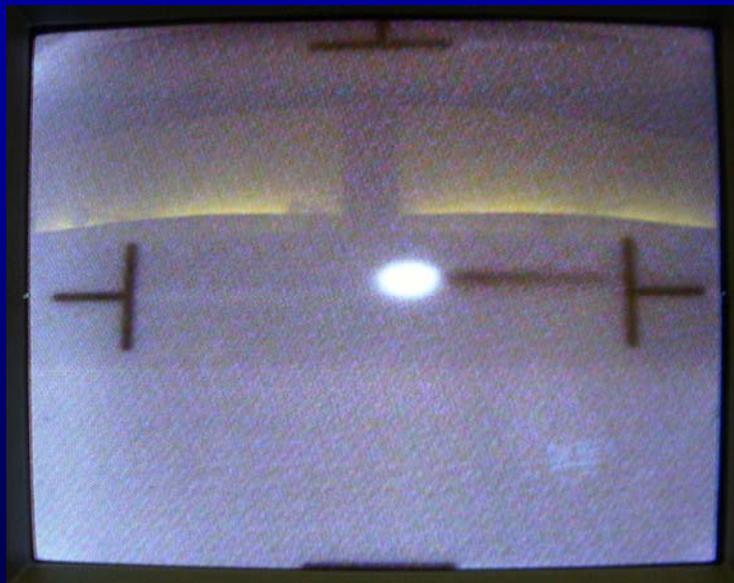
- **Chaînes d'inter verrouillage:**
 - verrouillage manuel et consignation des EIS de la chaîne 3 du SPS :
Tout transfert de faisceau dans TI8 est alors impossible
 - déconnection et mise HS temporaire de la chaîne 8 du LHC :
en attente de la fin d'installation du LASS au complet et tests avant démarrage du LHC
- **Portes et Grilles**
 - démontage des portes temporaires dans les secteurs 6-7 et 8-1
 - démontage éventuel des portes, grilles et points d'accès qui empiètent sur la zone de transport des aimants
 - Dans la mesure du possible on garde les équipements en place, par exemple les points d'accès en PM85 et PZ76
- **Pas de nécessité de garder un accès contrôlé après les tests, au delà du simple contrôle d'accès aux zones souterraines**

Radioprotection

- **Retour d'expérience : tests T18**
- **Comparaison et prédictions**
- **Surveillance**
- **Dispositions particulières**
- **Classification des zones après le test**

Retour d'expérience tests TI8

- Deux fois deux jours de tests en 2004
 - 23-25 Octobre : 5×10^{13} protons
 - 6-8 Novembre : 6.4×10^{13} protons
- Jusqu'à un arrêt de faisceau de type TED, en bas de TI8, identique a celui qui sera utilisé dans le test de secteur du LHC.



Premier tir dans TI8
et premier faisceau sur le TED
en bas de TI8

Retour d'expérience tests Tl8

- **Contrôle radiologique après chaque test**
 - débits de dose enregistrés sont compatibles avec les estimations.
 - A montré qu'il n'y a pas eu de pertes importantes le long de Tl8.
 - La plupart des éléments sont très en deçà de 1 uSv/h, l'élément le plus chaud (TED excepté) était à 7 uSv/h
- **Mesures d'activation de tous les matériaux présents, y compris le béton**
 - Confirmation de la production d'isotopes à période courte : la décroissance est suffisamment rapide pour que ce ne soit pas une préoccupation majeure.

RP : Comparaison

- **Essai d'injection: Intensité intégrée maximale de 3×10^{13} protons répartis sur environ 4000 tirs.**
 - Même ordre de grandeur que chacun des deux tests TI8
 - L'essentiel de cette intensité arrive sur le TED
 - Une fraction arrive sur le collimateur de protection de l'injection TDI
 - En cas de problème d'ouverture insurmontable le test sera arrêté
- **Test de secteur sur une période plus longue que le test TI8 : deux semaines contre deux jours.**
- **L'arrêt de faisceau TED est identique à celui qui a été utilisé dans le test de TI8.**
- **Résultats comparables, mais en faveur du test d'injection.**

RP : Simulations

- Base de la simulation : 1.3×10^{15} protons en 24 h.
- Réduction proportionnelle pour 3×10^{13} protons, sur une période de 24 h, et après 1 jour de décroissance.

Position sur le TED	Tl8 (Mesure à 10 cm) 2 jours de décroissance	Injection LHC (Prédiction) 1 jour de décroissance
Coté	20 uSv/h	40 uSv/h
Face aval	50 – 60 uSv/h	120 uSv/h

Ces valeurs dépendent de plusieurs facteurs , dont la distribution temporelle du faisceau et le temps de décroissance compte tenu des périodes courtes considérées

RP : Surveillance

- **Moniteurs de Pertes de Faisceau (Beam Loss Monitors)**
 - Sensibles à des pertes de 1% de l'intensité du paquet pilote
- **Intensité de faisceau**
 - Mesure et sauvegarde systématique de l'intensité de faisceau extraite du SPS, injectée dans le LHC et arrivée sur le TED.
- **Surveillance radiologique**
 - Étape importante pour RAMSES
 - Surveillance de la ventilation et de l'eau de refroidissement
 - Surveillance aux points d'accès et grilles de secteur
- **Campagne de mesures radiologiques après le test**
 - Planifiée après le test
 - Avec un soin particulier autour du bas de la ligne d'injection et du point d'injection, autour du bloc TDI et autour du TED.

RP : Dispositions particulières

- **TED**
 - Élément le plus activé par le test
 - Élément temporaire ad-hoc pour le test
- **Activation du béton autour du TED**
 - Isotopes de courte période (15,6 h pour Na²⁴)
 - Activité comparable au résultat du test T18
- **Protections supplémentaires sont envisageables (blindages ponctuels, cf. T18)**
- **TED retiré après un temps de décroissance**
 - Après une semaine de décroissance, dose collective inférieure à 200 uSV pour une équipe de cinq personnes.

RP : Dispositions particulières

- **Région de l'injection :**
 - Moins de 5×10^{12} protons (17% du total) au début du test
 - Installation finale; activité très faible
 - Protections locales envisageables
- **Insertion LHCb**
 - Ouverture plus grande que dans l'arc
 - Guidage précis du faisceau
 - Pas de test spécifique de l'insertion; optique adoucie
- **Arc (cryostat continu secteur 7-8) :**
 - Maîtrise des pertes et injections à la demande exclut les scénarios suivants:
 1. Perte uniforme totale (3×10^{13} protons) le long du cryostat continu (> 2000 m) produit une dose résultante négligeable.
 2. Perte locale et totale (3×10^{13} protons) concentrée sur un seul aimant (15 m) produit une dose résultante un peu supérieure à celle estimée pour le TED.

RP : Classification après le test

- **Campagne de mesures radiologiques complète**
 - **Similaire à celle de T18**
- **Radioactivité rémanente $< 2,5 \mu\text{Sv/h}$,**
 - **la zone est classée zone surveillée ;**
- **Radioactivité rémanente $> 2,5 \mu\text{Sv/h}$,**
 - **La zone est classée zone contrôlée ;**
 - **Le port du dosimètre est obligatoire,**
 - **Les travailleurs doivent être habilités et avoir été formés**

RP : Classification après le test

But : l'ensemble des installations concernées est une zone surveillée.

- **Injection :**
 - Pas de point chaud au delà de 2,5 uSV/h
 - Éventuellement protection locale (TDI)
 - Sinon zone contrôlée locale
- **Insertion :**
 - Pas de point chaud au delà de 2,5 uSV/h
- **Arc :**
 - Pas de point chaud au delà de 2,5 uSV/h
 - Éventuellement protection locale (aimants)
 - Sinon zone contrôlée locale
- **Autour du TED :**
 - Zone contrôlée jusqu'au retrait du TED
 - Éventuellement protection locale temporaire (points chauds béton)

Conclusions

- **Essais d'injection dans le LHC en Novembre 2006,**
 - Extension limitée : 3.3 km (une insertion et un arc complet)
 - Motivation : intégration complète et mesures avec faisceau
 - Très basse intensité : paquets pilote @ 5 - 10 10^9 protons
 - . < 4000 tirs du SPS via TI8
 - Intensité totale limitée : 3 x 10^{13} protons à 450 GeV
 - **Deux semaines dédiées** et planning détaillé des mesures
- **Contrôle et verrouillage machine**
 - « Beam Interlock Controller », « Safe Beam Flag » et faisceau sur demande
- **Accès**
 - Tester et utiliser le système d'accès (LASS et LACS) dans une configuration aussi proche que possible de la configuration finale
- **Radioprotection**
 - Retour d'expérience TI8 satisfaisant
 - Activation très faible et campagne de mesures radiologiques après le test
 - Classification appropriée des zones après les essais mais avec objectif de classification en zone surveillée