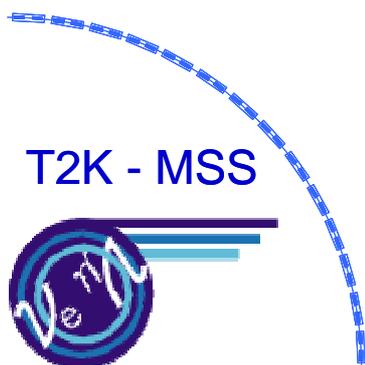


# T2K MSS

## Présentation après mise en service

Auteur : Jean-Paul CHARRIER

A :



Copies pour information :

Objet :	<b>Présentation après mise en service - T2K MSS</b>	
Date : 15 septembre 2009	Réf : Irfu/SIS/1847/09/JPC	

### Révision du document :

Ind	Date	Modifications	Auteur	Vérificateur	Approbateur
DA	15/09/2009		Jean-Paul CHARRIER		

# TABLE DES MATIERES

1.	L'expérience T2K.....	4
2.	De Tokai . . . ..	5
3.	. . . à Kamioka .....	6
4.	Les aimants supraconducteurs .....	7
5.	Transition ou "quench" .....	8
6.	Le MSS dans l'expérience T2K .....	9
6.1.	Introduction .....	9
6.2.	Circuit électrique et câbles de détection .....	9
6.3.	Description fonctionnelle.....	10
6.4.	Détection de transition .....	10
6.5.	Compensation .....	11
6.6.	Protection des amenées de courant .....	12
6.7.	Actions de sécurité.....	12
6.8.	Isolement nécessaire.....	13
6.9.	Carte de détection de transition : MD200 .....	14
6.10.	Cartes Logiques .....	15
6.11.	Châssis .....	17
6.12.	Acquisition de données .....	18
6.13.	Gestion par ordinateur .....	20
6.14.	Schéma synoptique du MSS.....	22
6.15.	Alimentation électrique du MSS.....	23
6.16.	Sécurité positive (fail-safe) .....	23
6.17.	Redondance.....	23
7.	Spécifications .....	24
8.	Les défis techniques.....	24
9.	Jalons techniques .....	25
10.	La mise en service .....	26
11.	Les prochaines étapes .....	26

Le MSS de T2K protège les aimants supraconducteurs de la ligne de faisceau.

Depuis le 23 Avril 2009, le MSS (Magnet Safety System) est opérationnel au J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex, Tokai, Japon).

Le MSS, conçu et réalisé par l'Irfu / SIS, protège 28 aimants supraconducteurs à fonctions combinées (dipôles et quadripôles). Ces aimants, parcourus par un courant de 4400 A, courbent un faisceau de protons selon un arc de 90 degrés, dans un tunnel de 150 m de long. Les protons sont destinés à produire des neutrinos envoyés vers le détecteur Super-Kamiokande, à 295 km à l'ouest de Tokai, en passant sous la surface de la terre.

En plus de ces 28 aimants, le MSS protège également 6 aimants de correction supraconducteurs (courant maximum = +/- 50 A).

Lorsque le MSS détecte une transition des aimants (un quench) ou un défaut sur leur circuit électrique, il commande la diminution du courant et la décharge de l'énergie stockée dans les bobines. Il empêche aussi les protons d'entrer dans la ligne de faisceau de T2K, dans un délai de 10 millisecondes.

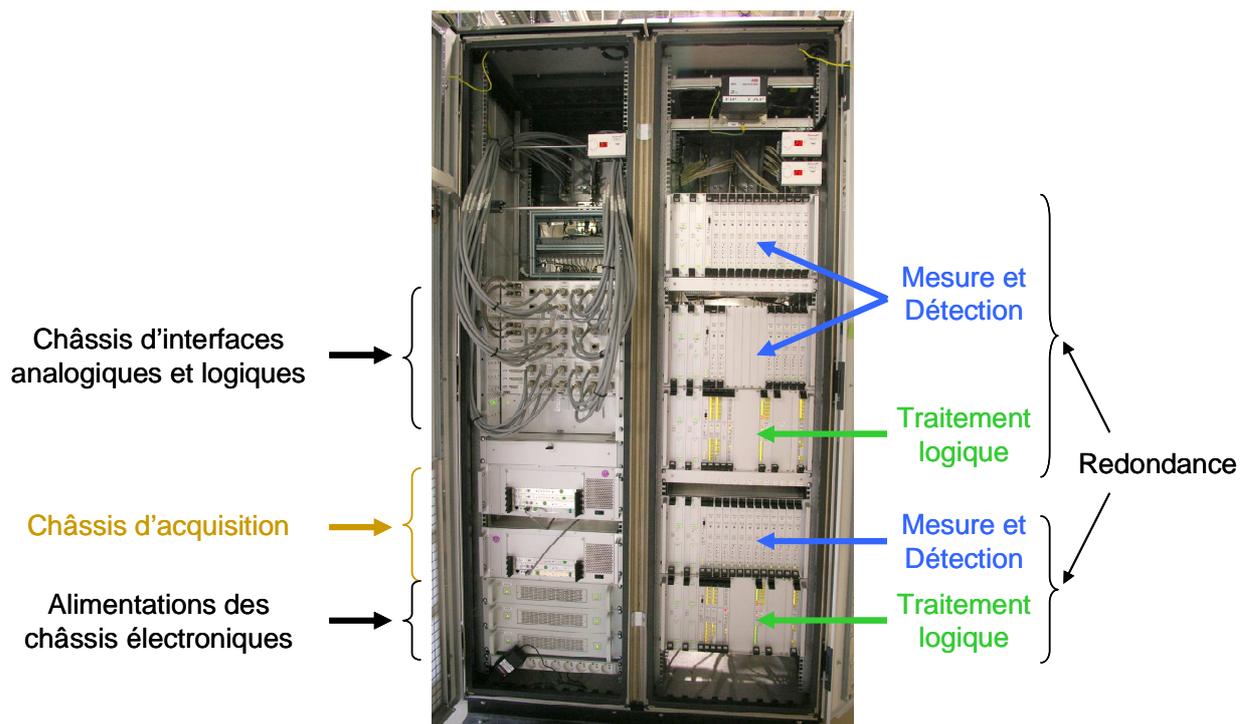


Figure 1 : Les 2 baies électroniques du MSS

## 1. L'expérience T2K

Il existe trois types différents de neutrinos, mais ces particules peuvent passer d'un type à un autre tout en continuant à se déplacer dans l'espace ou à travers la matière.

T2K (Tokai to Kamioka) est une expérience d'étude de l'oscillation des neutrinos à longue distance à partir d'un faisceau de neutrinos  $\mu$  (muoniques).

Cette expérience permettra surtout d'étudier l'oscillation entre les neutrinos  $\mu$  et les neutrinos  $e$  (électroniques).

L'objectif principal est la mesure de l'angle  $\theta_{13}$  de la matrice de mélange des neutrinos.

Dans le cas d'une valeur non nulle de  $\theta_{13}$ , un nouveau champ de recherche serait ouvert sur la compréhension de l'absence d'antimatière dans notre Univers et la violation de CP dans le système des neutrinos pourrait être mesurée par des expériences de type Megatonne.

L'expérience est une collaboration internationale à laquelle participent 2 organismes Japonais :

- le KEK : High Energy Accelerator Research Organization
- Le JAEA : Japan Atomic Energy Agency

L'Irfu du CEA-SACLAY participe à la réalisation de deux équipements :

- Protection des aimants supraconducteurs : MSS (Magnet Safety System)
  - Irfu / SIS (Service d'Ingénierie des Systèmes)
- Détecteur proche : TPC (Time Projection Chamber = Chambre à projection temporelle)
  - Irfu / SPP (Service de Physique des Particules),
  - Irfu / SEDI (Service d'Électronique des Détecteurs et d'Informatique)

## 2. De Tokai . . .

Les neutrinos sont émis à partir du J-PARC, un nouveau complexe d'accélérateurs situé à Tokai, au Japon, sur le campus du JAEA, à 130 km au nord-est de Tokyo, sur la côte Pacifique.

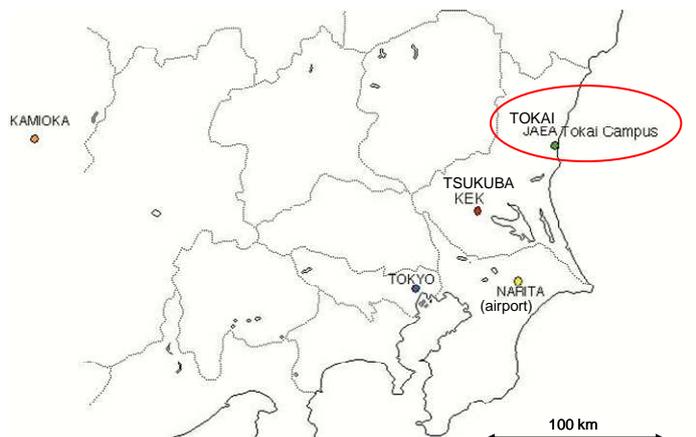


Figure 2 : Situation géographique

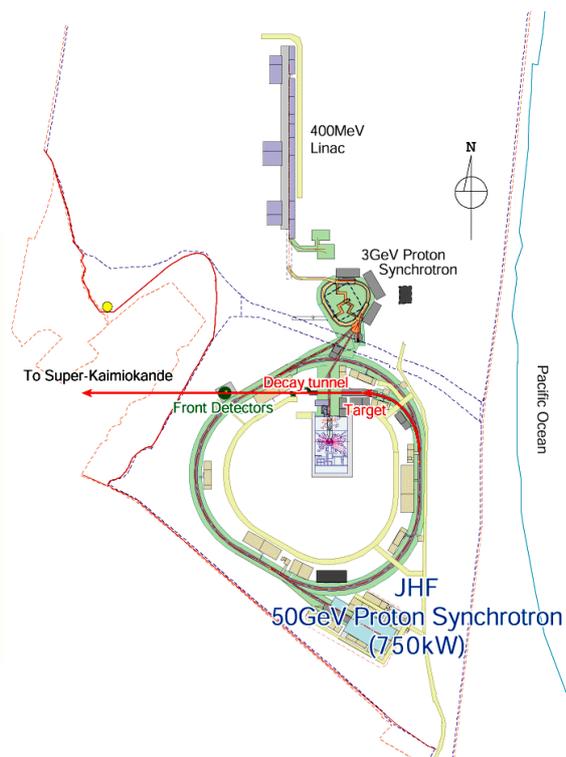


Figure 3 : Schéma du J-PARC

Après leur extraction à partir du Proton Synchrotron de 50 GeV, disponible à 30 GeV depuis Décembre 2008, des protons sont envoyés vers la ligne du faisceau primaire de T2K.

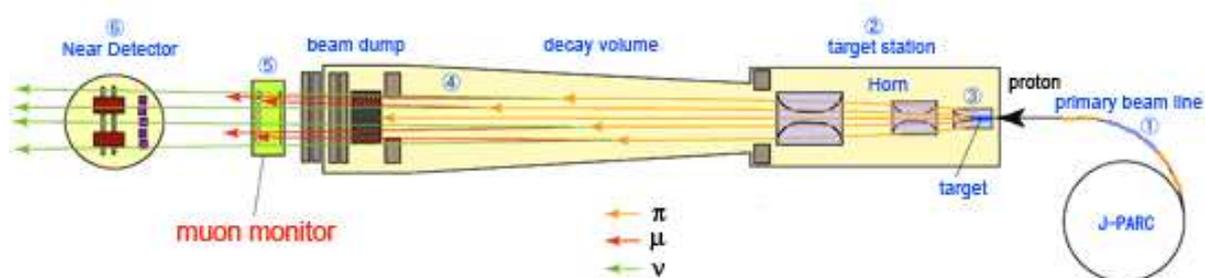


Figure 4 : Production et détection des neutrinos au J-PARC

Cette ligne focalise le faisceau, courbe la trajectoire des protons selon un arc de 90 degrés, dans un tunnel de 150 m de long et les dirige vers une cible située juste à sa sortie, en direction du détecteur Super-Kamiokande.

En frappant la cible, les protons produisent un faisceau secondaire de particules : des pions ( $\pi$ ).

Ces pions se désintègrent ensuite, essentiellement en muons ( $\mu$ ) et en neutrinos muoniques ( $\nu$ ).

Par la suite, lorsqu'un neutrino  $\mu$  interagit avec un noyau, il peut produire un muon.

Un détecteur proche, à 280m de la cible des protons, réalisé par le SPP et le SEDI de l'Ifnu, permettra de connaître les propriétés du faisceau de neutrinos émis.

### 3. ... à Kamioka

Les neutrinos atteignent le détecteur Super-Kamiokande, à Kamioka, après un parcours de 295 km sous la surface de la terre.

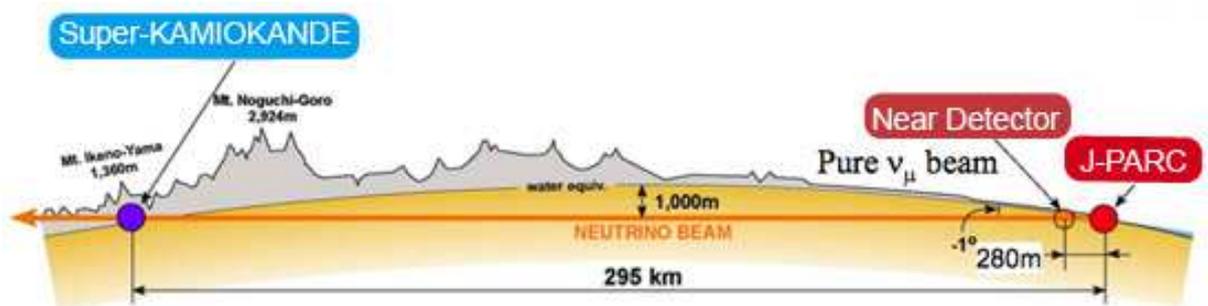


Figure 5 : Les neutrinos sont envoyés du J-PARC vers le détecteur Super-Kamiokande

Ce détecteur, en service depuis 1996, permet de mesurer les caractéristiques des neutrinos reçus.

La comparaison des observations des deux détecteurs permettra de mesurer l'évolution des répartitions de neutrinos de chacun des trois types sur cette distance, ainsi que d'autres paramètres importants.

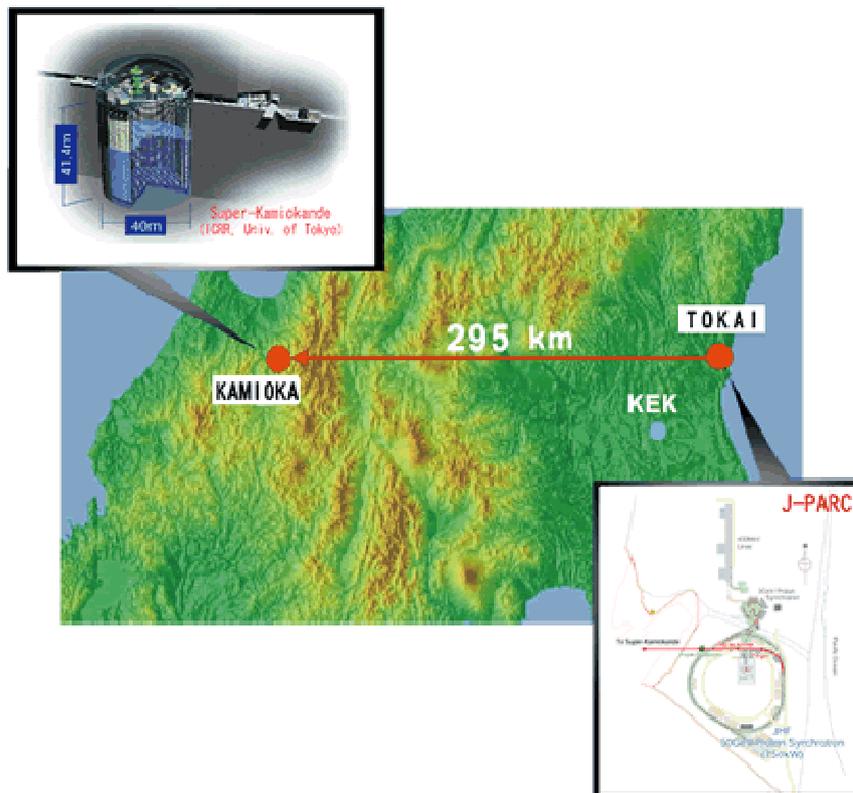


Figure 6 : De Tokai vers Kamioka

## 4. Les aimants supraconducteurs

La ligne de faisceau primaire de protons de T2K comporte 28 aimants supraconducteurs à fonctions combinées, conçus par le KEK et situés dans 14 cryostats.

Les fonctions combinées correspondent aux fonctions de dipôle et de quadripôle, réunies dans la même bobine, afin de réduire le coût et l'encombrement.

C'est la première réalisation de ce type avec des aimants supraconducteurs.

Les dipôles courbent la trajectoire des protons en direction du détecteur Super-Kamiokande.

Les quadripôles focalisent le faisceau, c'est-à-dire ramènent vers le centre de la trajectoire les protons qui tendent à s'en écarter.

Tous les aimants sont identiques et reliés en série.

L'orientation de 2 aimants successifs est inversée de sorte qu'un aimant a un champ quadripolaire focalisant selon l'axe des y et le suivant un champ focalisant selon l'axe des x.

L'arc d'aimants comporte également 6 aimants de correction, conçus par le BNL (Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, USA).

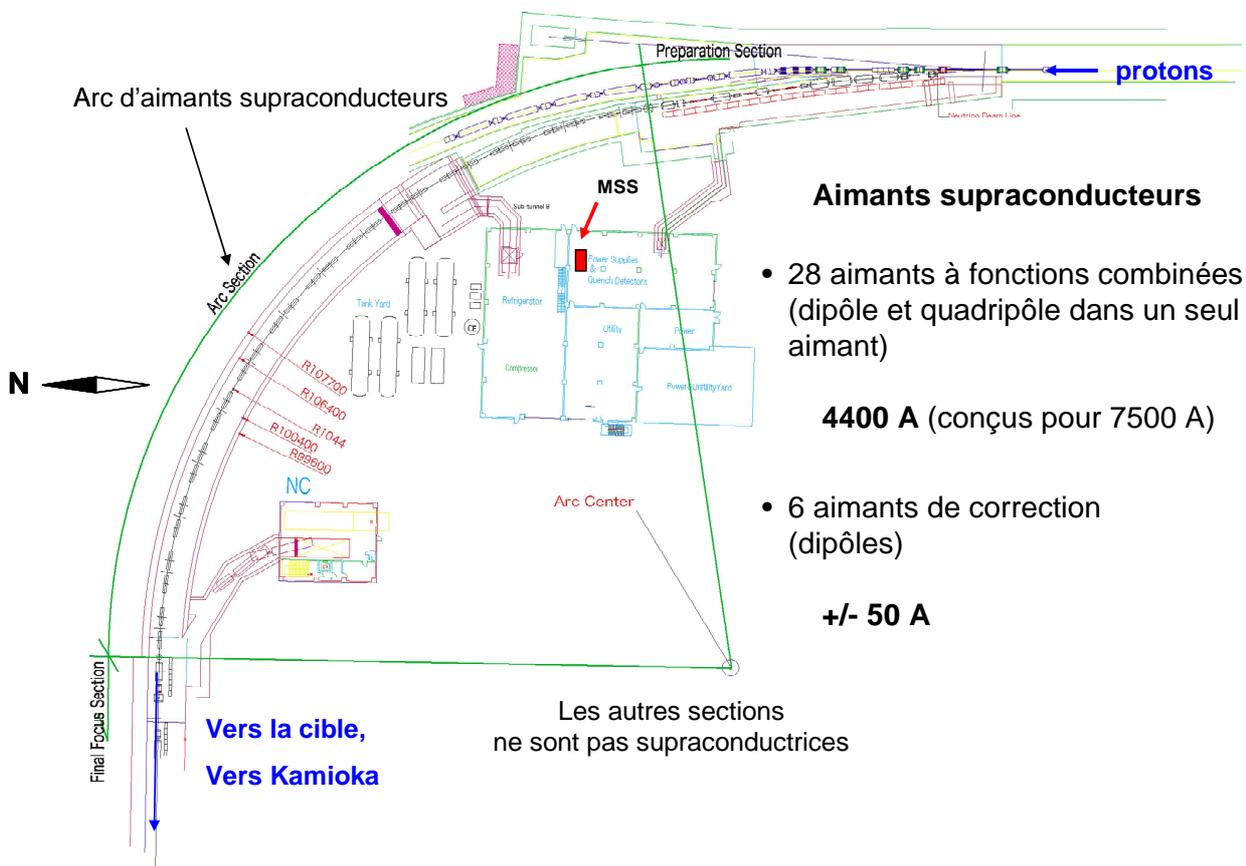


Figure 7 : Situation des aimants et du MSS

---

Caractéristiques des 28 aimants principaux, pour une énergie du faisceau de 50 GeV :

Champ dipolaire :	~ 2,6 T
Champ quadrupolaire (gradient) :	~ 18,6 T / m
Inductance de chaque bobine :	14 mH
Inductance totale :	~ 400 mH
Courant nominal :	7345 A (4400 A à 30 GeV)
Température des bobines :	4,5 K
Pression d'hélium (supercritique) :	0,36 MPa
Énergie emmagasinée (1 bobine) :	386 kJ
Énergie totale emmagasinée :	~ 11 MJ
Longueur d'une bobine :	3,6 m
Masse d'une bobine :	6200 kg
Angle total de déviation :	84,5 degrés
Rayon de courbure (section d'arc) :	~ 105 m
Longueur de la section d'arc :	~ 155 m

## 5. Transition ou "quench"

Une partie du conducteur d'une bobine ou du circuit électrique, peut passer de l'état supraconducteur à l'état "normal" (ou résistif) de façon non intentionnelle.

La résistance qui apparaît alors provoque un échauffement par effet Joule.

Ce phénomène est appelé transition vers l'état "normal", par opposition à l'état supraconducteur. On parle aussi, plus simplement, de transition.

En anglais, et aussi couramment en français, la transition est appelée "quench".

2 cas de figure peuvent se présenter :

- Si la zone "normale" qui apparaît est de faible volume, si le refroidissement est suffisant et si les conditions qui l'ont provoquée disparaissent rapidement, la transition peut être transitoire. Le conducteur retourne alors dans l'état supraconducteur sans incidence importante sur le fonctionnement de l'ensemble.
- Dans le cas contraire, l'échauffement localisé et important du conducteur peut rapidement entraîner sa destruction ou endommager irrémédiablement certains matériaux.

## 6. Le MSS dans l'expérience T2K

### 6.1. Introduction

Le MSS (pour Magnet Safety System) est l'électronique de détection des défauts et d'instrumentation du système de protection de l'arc d'aimants supraconducteurs de la ligne de faisceau de T2K.

L'Irfu / SIS a la charge des tâches suivantes :

- Étude,
- Réalisation,
- Validation,
- Montage sur site,
- Mise en service.

### 6.2. Circuit électrique et câbles de détection

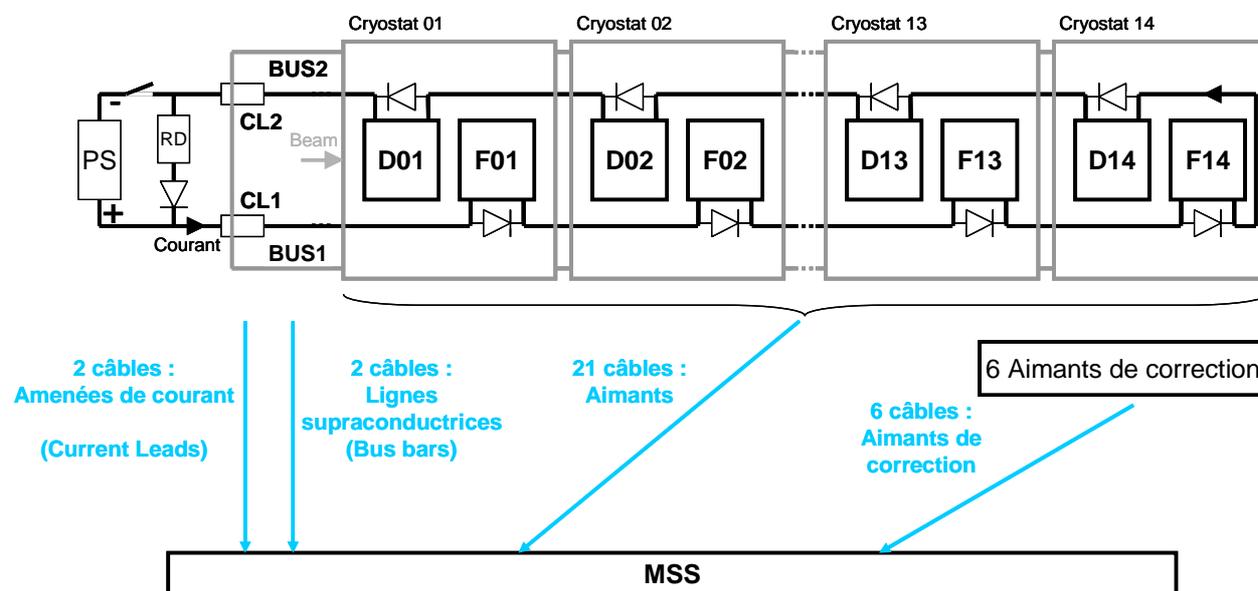


Figure 8 : Total : 31 Câbles de détection (redondance incluse)  
(D01, F01, ... = 28 aimants)

### 6.3. Description fonctionnelle

Le MSS doit détecter l'apparition d'un défaut et mettre l'installation en sécurité.

#### Fonctions principales

##### Détection

- Détection de transition des 28 aimants principaux,
- Détection de transition des 2 bus bars (lignes supraconductrices),
- Détection de transition des 2 amenées de courant (partie supraconductrice),
- Détection de transition des 6 aimants de correction.

##### Actions de sécurité

- Arrêt des alimentations de puissance,  
et décharge de l'énergie stockée dans les bobines,
- Activation des chaufferettes,
- Arrêt du faisceau.

#### Fonctions complémentaires

Acquisition de données : Paramètres analogiques et logiques

Gestion par ordinateur : Supervision, réglages et contrôle

### 6.4. Détection de transition

Le MSS surveille la tension provoquée par le passage du courant dans le conducteur, lorsqu'il devient résistif (cf. loi d'Ohm).

Cette tension est initialement nulle lorsque le conducteur est dans l'état supraconducteur. Lorsque cette tension dépasse un seuil prédéterminé, appelé "seuil de niveau", le MSS détecte une transition.

Pour éviter des détections intempestives en cas de transition temporaire de courte durée, la détection est validée uniquement si le seuil de niveau est dépassé pendant au moins une durée prédéterminée, appelée "seuil de durée".

Le MSS prend en compte la détection de transition lorsque les 2 seuils (niveau et durée) sont dépassés.

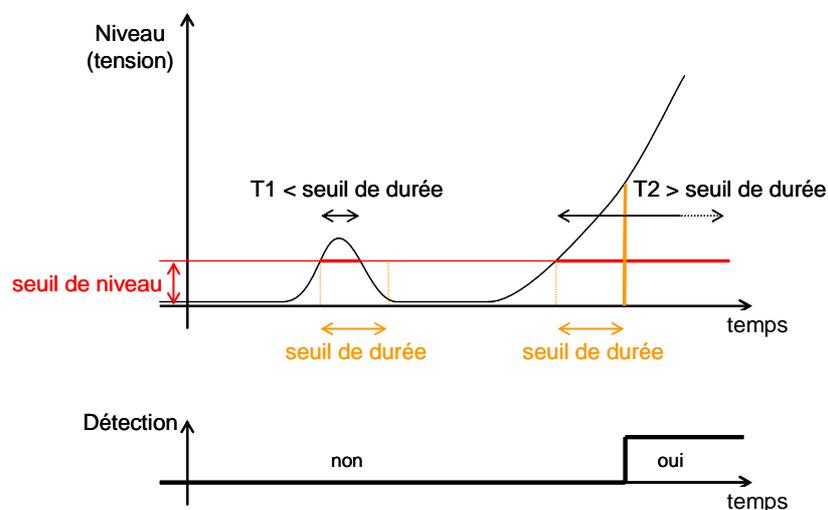


Figure 9 : Seuil de niveau, seuil de durée

## 6.5. Compensation

Lors de la charge et de la décharge des aimants, une tension est volontairement appliquée aux bornes des bobines afin de faire varier le courant qui les traverse.

Cette tension, parfois appelée "tension inductive", ne doit pas être prise en compte dans la détection de transition et ne doit pas créer de déclenchement intempestif de la protection.

Seule la "tension résistive", provoquée par le passage du courant dans la partie résistive du supraconducteur qui a transité doit être comparée au seuil de niveau.

Pour cela, le MSS réalise la différence des tensions de deux portions du circuit électrique contenant des bobines parcourues par le même courant.

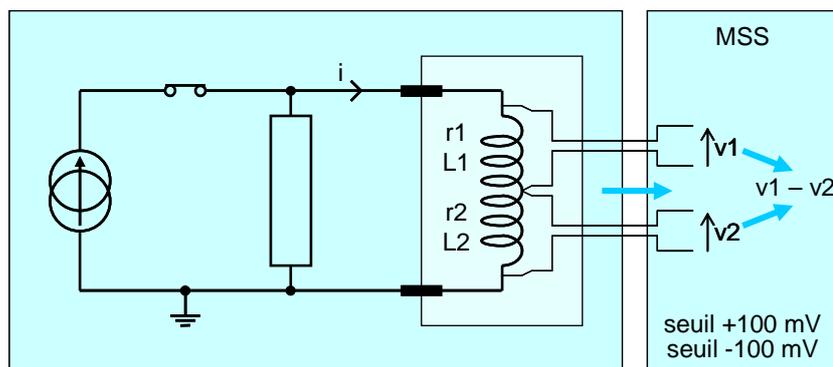


Figure 10 : Principe de la compensation

$$v1 = r1 \cdot i + L1 \cdot \frac{di}{dt}$$

$$v2 = r2 \cdot i + L2 \cdot \frac{di}{dt}$$

$$v1 - v2 = (r1 - r2) \cdot i + (L1 - L2) \cdot \frac{di}{dt}$$

$= 0$  si supraconducteur  
 $= 0$  si les tensions se compensent  
 Ne gêne pas la détection

$$v1 - v2 \approx (r1 - r2) \cdot i$$

$v1 - v2$  est appelée la "tension compensée"

Les amenées de courant et les bus supraconducteurs ne sont pas inductifs.

La compensation est donc inutile pour leur protection et le MSS compare directement leur tension à un seuil de niveau.

## 6.6. Protection des amenées de courant

Un échauffement excessif d'une amenée de courant peut entraîner sa destruction.

Les amenées de courant possèdent une partie résistive et une partie supraconductrice.

Lorsque la partie résistive est parcourue par un courant, l'élévation de sa température provoque une augmentation de sa résistance et donc de sa tension.

La partie résistive des amenées de courant est surveillée par l'automate de la cryogénie.

Le MSS protège la partie supraconductrice des amenées de courant.

## 6.7. Actions de sécurité

Dans l'arc d'aimants de T2K, chaque aimant est d'abord protégé par une diode froide reliée en permanence en parallèle avec la bobine. Lors d'une transition, la tension aux bornes de la bobine augmente et provoque la conduction de la diode. Une partie du courant qui passait dans la bobine est dérivé dans la diode.

Le courant doit alors être ramené à une valeur nulle, afin d'éviter un échauffement excessif de la diode.

Le courant doit aussi être ramené à une valeur nulle en cas de transition d'un bus bar ou d'une amenée de courant.

Lorsque le MSS détecte un dysfonctionnement de l'installation, il émet des commandes vers les organes qui vont réaliser la mise en sécurité.

### Arrêt des alimentations de puissance et décharge de l'énergie stockée dans les bobines :

L'énergie emmagasinée dans les bobines est déchargée dans une résistance de décharge connectée en permanence en parallèle avec l'ensemble des 28 bobines.

Cette résistance évite que la totalité de l'énergie se décharge dans la zone qui a transité.

### Activation des chaufferettes :

Le MSS active des chaufferettes afin de faire transiter plus rapidement l'aimant concerné. La transition de l'ensemble de l'aimant permet de répartir l'échauffement et de diminuer plus rapidement le courant. Elle permet également de mieux répartir les contraintes mécaniques.

### Arrêt du faisceau :

Le MSS doit immédiatement provoquer l'arrêt du faisceau dès qu'il détecte un dysfonctionnement et que le courant ne peut plus être maintenu à sa valeur de consigne.

Dans le cas contraire, le faisceau très intense de protons ne serait plus dévié correctement et pourrait percer et détruite le tube dans lequel il passe, ainsi que les éléments situés autour (aimants, cryostat, etc.).

## 6.8. Isolement nécessaire

Lors d'une décharge rapide, l'énergie emmagasinée dans les bobines est essentiellement dissipée par effet Joule dans la résistance de décharge.

Une tension apparaît alors aux bornes de cette résistance.

Le circuit électrique et le MSS doivent supporter cette tension.

À l'ouverture du contacteur, pour décharger les aimants :

U =	Résistance de décharge	x	Courant avant l'ouverture		
U =	20 mΩ	x	4400 A	= 88 V	à 30 GeV
U =	20 mΩ	x	7345 A	~ 150 V	à 50 GeV
	Option avec 40 mΩ :			~ 300 V	
	Spécification demandée :			500 V	

Remarque :

En cas de transition d'un aimant supraconducteur, et s'il est parcouru par un courant, une tension apparaît aux bornes de sa résistance.

Dans le cas des 28 aimants principaux de la ligne de faisceau de T2K, cette tension est limitée à quelques volts par la diode connectée en parallèle avec chaque aimant.

Pour les aimants de correction, les amenées de courant et les bus supraconducteurs, le courant décroît assez rapidement pour que la tension reste faible.

## 6.9. Carte de détection de transition : MD200

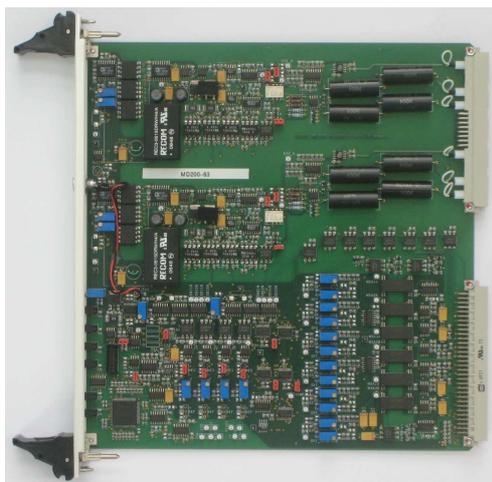


Figure 11 : Cartes de détection MD200

Le MSS de T2K utilise des cartes MD200 (MD pour "Mesure et Détection"), conçues par le SIS.

Ces cartes sont une évolution des cartes MD100, utilisées pour les premiers essais de la bobine B0 d'ATLAS, pour la station d'essai des bobines de W7X et pour l'aimant COMPASS.

Les cartes MD200 sont également utilisées pour la protection de l'aimant du spectromètre supraconducteur de grande ouverture GLAD (GSI Large Acceptance Dipole) de l'expérience R3B, ainsi que dans deux stations d'essai d'aimants du SACM (Service des Accélérateurs, de Cryogénie et de Magnétisme), au CEA-SACLAY.

Les fonctions de base des cartes MD100 et MD200 sont identiques :

### **Mesure**

#### Entrées Analogiques

Mise à l'échelle, filtrage et isolement des tensions

#### Sorties Analogiques

Pour recopie vers un système d'acquisition et de stockage externe

### **Détection**

#### Détection de défaut à l'aide de :

Seuils de niveau

Seuils de durée

En plus de ces fonctions de base, les cartes MD200 possèdent des fonctions avancées de gestion par ordinateur, accessibles à partir d'un PC.

## 6.10. Cartes Logiques

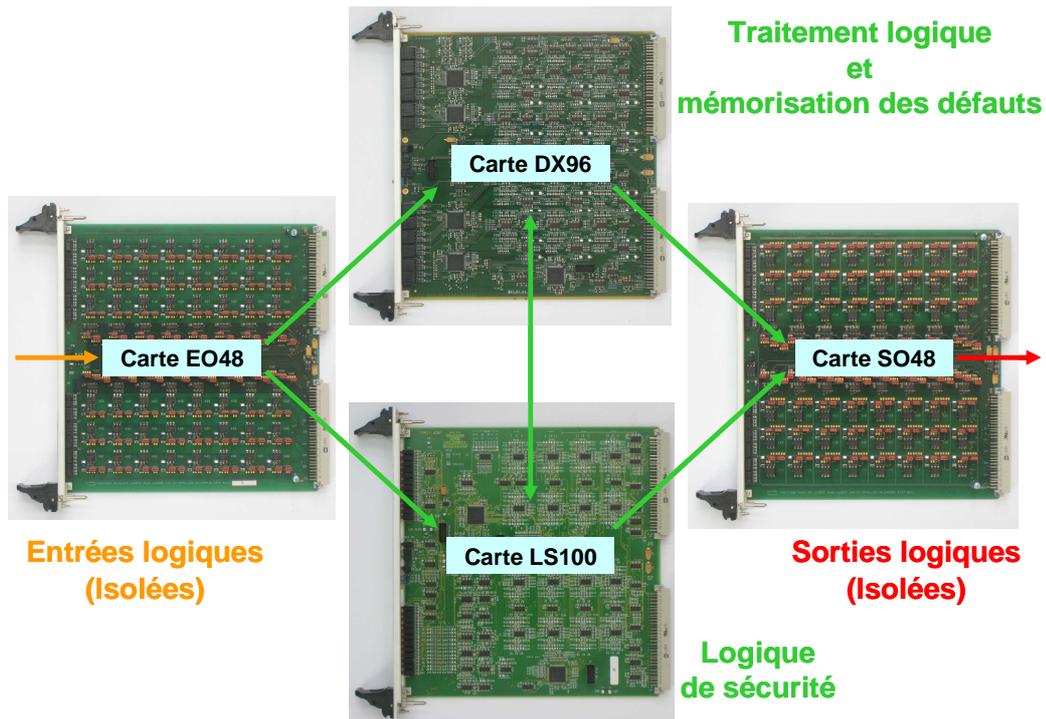


Figure 12 : Cartes logiques

### Carte DX96 : Traitement et mémorisation

Cette carte reçoit essentiellement les informations en provenance des cartes de détection de transition (MD200).

Elle reçoit également des informations du reste de l'installation :

- Alimentations de puissance,
- Automate de contrôle-commande de la cryogénie,
- Bouton d'arrêt du champ magnétique.

La carte DX96 possède 96 entrées et 1 sortie.

La sortie correspond à un OU logique de toutes les entrées.

Elle traite ces informations (96 au maximum), les mémorise et commande l'arrêt du faisceau.

### Carte LS100 : Logique de sécurité

Cette carte reçoit les mêmes informations que la carte DX96.

Elle traite ces informations et commande les actions nécessaires à la mise en sécurité de l'installation en cas de dysfonctionnement (sauf l'arrêt du faisceau), ainsi que le déclenchement des systèmes d'acquisition (trigger).

La carte LS100 possède 96 entrées et 12 sorties.

Chaque sortie correspond à une équation logique faisant intervenir plusieurs entrées.

L'état des 12 sorties est mémorisé sur la carte.

Cette carte assure également les fonctions suivantes :

- Gestion de l'acquiescement des défauts, en local et depuis l'automate de la cryogénie,
- Vérification de l'état du MSS, en fonction de celui de l'installation (signal MSS\_OK affiché et envoyé à l'automate de la cryogénie)

### Cartes d'entrées et de sorties logiques

Ces cartes réalisent les interfaces logiques avec les cartes de détection de transition et avec le reste de l'installation.

Les entrées et les sorties sont équipées d'optocoupleurs.

Les entrées et les sorties peuvent fournir une tension de 24 V ou être libres de potentiel.

Dans ce dernier cas, la tension doit être fournie par l'équipement distant.

Le MSS de T2K utilise les cartes d'entrées optocouplées EO48 et les cartes de sorties optocouplées SO48.

Chaque carte possède 48 voies.

## 6.11. Châssis

### Châssis de Mesure et Détection MDC (Measurement and Detection Crate)

Un châssis MDC contient au maximum 12 cartes de détection de transition MD200. 3 châssis MDC sont nécessaires pour les 31 cartes MD200 du MSS de T2K.



Figure 13 : Châssis MDC

### Châssis de Logique de Sécurité SLC (Safety Logic Crate)

Un châssis SLC contient les cartes suivantes :

- Cartes d'entrées logiques
- Carte de traitement logique et mémorisation des défauts
- Carte de logique de sécurité
- Carte de sorties logiques

2 châssis SLC identiques sont utilisés pour assurer la redondance des fonctions du MSS.



Figure 14 : Châssis SLC

### Châssis d'Interface avec l'Installation AIC et LIC

Pour augmenter la fiabilité du MSS, les signaux analogiques d'entrée des cartes de détection MD200 arrivent directement à l'arrière des châssis MDC, par l'intermédiaire de connecteurs haute tension.

Toutes les autres entrées et sorties du MSS passent par les châssis d'interface AIC (Analog Interface Crate) et LIC (Logic Interface Crate).

Les informations sont ensuite échangées avec les châssis MDC, SLC et DAQ (acquisition) à travers des câbles internes au MSS.

Ce principe permet d'utiliser des châssis MDC et SLC à peu près identiques pour chaque MSS. Seul les châssis AIC et LIC sont spécifiques à chaque installation.

## 6.12. Acquisition de données

Les tensions surveillées ainsi que les courants et tensions des alimentations de puissance sont mémorisés par un système d'acquisition.

Les entrées et sorties logiques du MSS sont également enregistrées.

### Châssis d'acquisition DAQ (Data AcQuisition)

Les châssis d'acquisition DAQ1 et DAQ2 enregistrent des données analogiques et logiques.

- DAQ1 : aimants principaux
- DAQ2 : aimants de correction



Figure 15 : Châssis d'acquisition de données

Les données sont en permanence enregistrées dans une mémoire d'une durée de 100 s. Après cette durée, les nouvelles données remplacent les anciennes.

Lorsqu'une carte de Logique de Sécurité LS100 envoie le signal de déclenchement (trigger) à un châssis DAQ, celui-ci continue l'acquisition pendant une durée  $T_{\text{Post-Trig}}$  (ici : 50 s), puis arrête l'acquisition.

Les données contenues en mémoire correspondent alors à une durée qui entoure le moment de la détection du défaut.

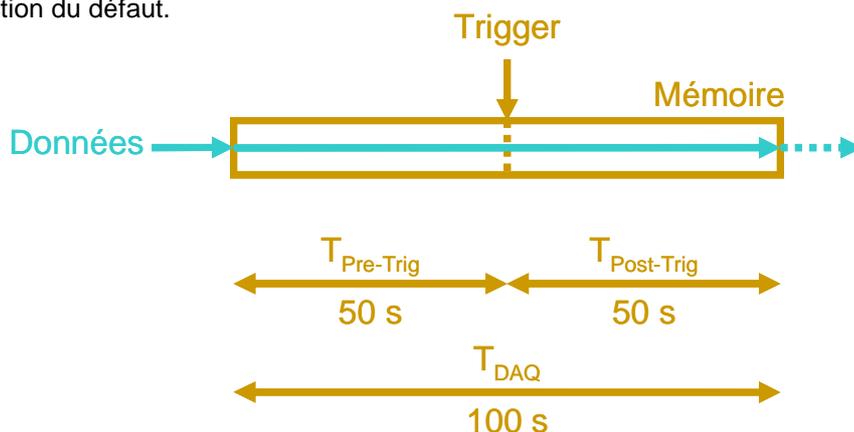


Figure 16 : Mémoire d'acquisition

Après transfert dans le PC d'acquisition, ces données permettent l'analyse des événements qui ont précédé et suivi le défaut.

Le système d'acquisition est organisé à partir d'une solution au standard VME64x.

### PC d'acquisition

Un PC standard sous Linux est utilisé pour la supervision générale du système, l'archivage des données du MSS et leur visualisation.

La supervision globale du système est effectuée par des outils standards EPICS.



Figure 17 : PC d'acquisition de données

Pour la visualisation, un développement spécifique avec le logiciel graphique IDL de RSI est utilisé.

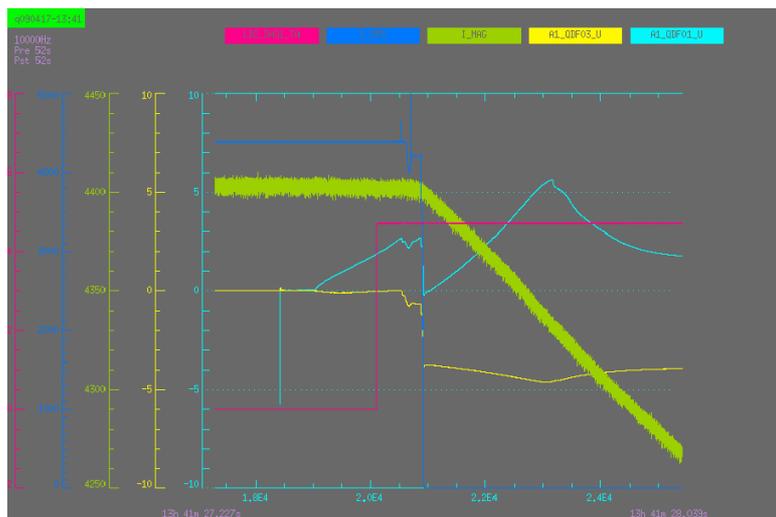


Figure 18 : Visualisation d'une transition provoquée lors d'un test

### 6.13. Gestion par ordinateur

En plus des fonctions de base nécessaires à la protection des aimants supraconducteurs, le MSS possède les fonctions avancées suivantes, accessibles à partir d'un PC :

#### Supervision

Analogique : tensions d'entrée et tension compensée  
Logique : défauts détectés

#### Réglage

Gains et offsets : pour la fonction "Mesure"

#### Contrôle

Seuils : sûreté de fonctionnement de la carte MD200  
Logique : sûreté de fonctionnement de l'électronique de protection  
Connexions des entrées/sorties : sûreté de fonctionnement des interfaces  
Global (mise en sécurité) : sûreté de fonctionnement du système de protection

#### **Réseau WorldFIP (ou FIP)**

Les fonctions avancées du MSS utilisent un réseau de terrain WorldFIP qui lui est dédié.

Chaque châssis MDC et SLC constitue une station du réseau FIP.

Une station de gestion spécifique au MSS dialogue avec chacun des châssis via le réseau FIP. Elle est constituée d'un PC et sert également d'IHM (Interface Homme-Machine).

#### **Carte SFIP**

Chaque châssis MDC et SLC comporte une carte SFIP (pour "SPI FIP"), conçues par le SIS.



Figure 19 : Carte SFIP

La carte SFIP peut dialoguer avec les composants des autres cartes du châssis, par l'intermédiaire d'un bus série SPI (Serial Peripheral Interface) largement utilisé dans l'industrie.

Le dialogue SPI est du type maître-esclave.

Le microcontrôleur de la carte SFIP est le maître et les composants SPI des cartes sont les esclaves.

Dans l'industrie, le bus SPI est utilisé pour la communication entre un microcontrôleur et des composants périphériques situés sur la même carte électronique. Tous les périphériques sont reliés au microcontrôleur par l'intermédiaire d'un bus de 3 signaux ("bus 3 fils"). Un signal spécifique à chaque périphérique permet de le sélectionner parmi les autres composants SPI.

Un protocole spécifique développé par le SIS permet d'utiliser le bus SPI pour communiquer avec plusieurs cartes d'un même châssis en ajoutant un seul fil de sélection pour l'ensemble des périphériques.

Le microcontrôleur de la carte SFIP gère aussi les échanges avec le réseau FIP.

Le réseau FIP relie toutes les cartes SFIP (1 par châssis) à la station de gestion FIP.

### PC de gestion (ou station de gestion FIP)

Les deux fonctionnalités principales de cette station sont les suivantes :

- Gestion du MSS par l'utilisateur via une IHM (Interface Homme-Machine)
  - Supervision du MSS,
  - Réglages de certains paramètres ,
  - Contrôle du bon fonctionnement du MSS (contrôle des seuils de détection et des actions qui en découlent).
- Contrôle du réseau FIP (Arbitre de bus) assurant la communication avec les stations MDC et SLC.

La station de gestion du MSS est constituée d'un PC équipé d'une carte PCI-FIP pour réaliser l'interface avec les châssis électroniques du MSS, grâce au réseau de terrain WorldFIP.

Système d'exploitation : Windows XP  
Application spécifique développée avec LabView.

La station de gestion est située dans la salle de contrôle. Elle est reliée aux châssis MDC et SLC par l'intermédiaire du réseau de terrain FIP.



Figure 20 : PC de gestion du MSS

### 6.14. Schéma synoptique du MSS

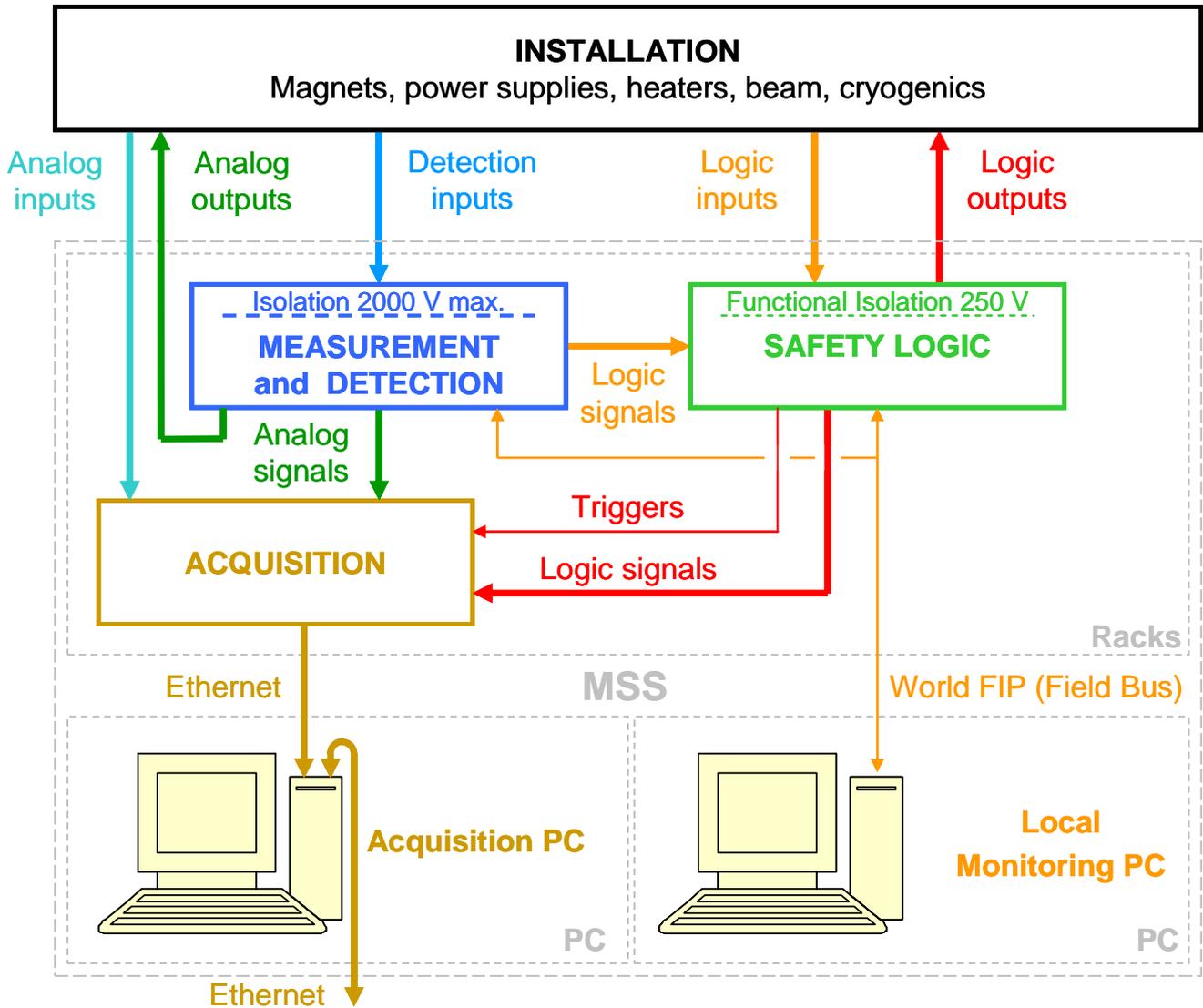


Figure 21 : Schéma synoptique du MSS

## **6.15. Alimentation électrique du MSS**

Le MSS est alimenté à partir d'un réseau 100 V / 50 Hz, secouru par l'onduleur de l'automate de la cryogénie.

En cas de coupure du 100 V secouru, le manque de tension dans le MSS provoque la mise en sécurité de l'installation.

Ces actions sont automatiques car toutes les interfaces logiques internes et externes liées à la sécurité utilisent le principe de sécurité positive (fail-safe).

## **6.16. Sécurité positive (fail-safe)**

La coupure d'une liaison logique entre 2 cartes ou châssis du MSS, ou d'une liaison logique vers le reste de l'installation est considérée comme l'état le plus sûr du signal correspondant.

L'état le plus sûr est celui qui met un organe ou l'installation entière en position de sécurité.

Sur les cartes du MSS, la disparition de l'alimentation de l'électronique nécessaire au fonctionnement de chaque liaison logique est considérée comme une coupure de la liaison. Elle entraîne la mise en sécurité de l'organe commandé ou de l'installation.

## **6.17. Redondance**

Les câbles de mesure, les cartes de détection, la logique de traitement et les entrées/sorties logiques existent en double exemplaire.

Cette redondance augmente la sûreté de fonctionnement du système en cas de dysfonctionnement d'un de ses éléments.

Il suffit qu'un des 2 sous-systèmes détecte un défaut et commande les actions de sécurité correspondantes pour que le MSS remplisse sa tâche de protection des aimants supraconducteurs.

## 7. Spécifications

### Seuils de niveau et de durée

	Seuil de niveau	Seuil de durée
Aimants principaux	100 mV	10 ms
Bus bars	100 mV	10 ms
Amenées de courant	100 mV	100 ms
Aimants correcteurs	400 mV	10 ms

### Haute tension

Les entrées des cartes de détection du MSS doivent supporter la tension maximale :  
500 V continu.

Les câbles et connecteurs correspondants doivent supporter la même tension.

### Système d'acquisition des données

	DAQ1	DAQ2
Origine des mesures	Aimants principaux	Aimants de correction
Nombre de voies analogiques	60	30
Nombre de voies logiques	44	16
Fréquence d'échantillonnage	10 kHz	
Durée totale d'enregistrement	100 s	

## 8. Les défis techniques

### Tensions mesurées faibles et isolement nécessaire

#### Tensions mesurées faibles

Si tout va bien :  $\sim 0$  V (supraconducteurs, I constant),

Seuils de détection : 100 mV

#### Tensions subies élevées

À l'ouverture du contacteur, pour décharger les aimants :

$U = \text{Résistance de décharge} \times \text{Courant avant l'ouverture}$

$U = 20 \text{ m}\Omega \times 4400 \text{ A} = 88 \text{ V}$  à 30 GeV

$U = 20 \text{ m}\Omega \times 7345 \text{ A} \sim 150 \text{ V}$  à 50 GeV

Option avec 40 m $\Omega$  :  $\sim 300$  V

Spécification demandée : 500 V

Les cartes électronique développées au SIS supportent 2000 V

### Temps de réponse

Seuil de durée : 10 ms

## 9. Jalons techniques

**Exploration, Proposition :**

Janvier 2004 – Décembre 2004

**Faisabilité, Évaluation :**

Janvier 2005 – Février 2006

**Définition préliminaire :**

Juin 2005 – Mars 2006

**Définition détaillée :**

Avril 2006 – Janvier 2008

**Réalisation :**

Décembre 2006 – Juin 2008



**Validation à Saclay :**

Juillet 2008



**Montage et mise au point sur site :** Septembre 2008



**Mise en service, sans le faisceau :** 9 Février 2009 (aimants froids)



**Mise en service, avec le faisceau :** 23 Avril 2009

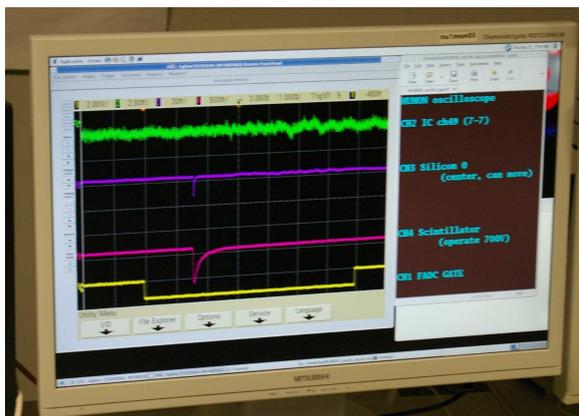


Figure 22 : Moniteur de muons



Figure 23 : Cérémonie en attente des résultats de physique

## 10. La mise en service

Depuis la mise en service du faisceau, le MSS joue un rôle crucial.

Les transitions des aimants pourraient être provoquées par la perte de l'alignement du faisceau dans le tunnel.

Cependant, lors de la mise en service, dès le premier tir et au cours des jours suivants, le faisceau de protons est resté aligné à l'intérieur du tube, sans le traverser et sans réchauffer les aimants ni provoquer leur transition.

La détection de muons lors du premier tir montre que des neutrinos ont bien été produits à Tokai. Cette performance a pu être réalisée grâce au travail de la collaboration T2K, et en particulier aux efforts des physiciens du KEK, des responsables et opérateurs du système d'aimants, de la cryogénie et du faisceau.

En ce qui concerne le MSS, merci à toutes les personnes qui ont contribué à cette réussite, de l'étude et la réalisation à Saclay, jusqu'aux tests et à la mise en service au Japon.

## 11. Les prochaines étapes

Intégration du détecteur :	Février - Juin 2009
Installation du détecteur au Japon :	Juillet 2009
Mise en service de la TPC :	Octobre 2009
Prise de données :	Décembre 2009
Premiers résultats :	Été 2010

Une deuxième phase de l'expérience, consacrée à l'étude de la violation de CP dans les neutrinos, est en cours d'étude.