

EUROPEAN LABORATORY FOR PARTICLE PHYSICS  
LABORATOIRE EUROPEEN POUR LA PHYSIQUE DES PARTICULES

CERN-ST-99-032

February, 1999

**LE SYSTEME D'INTERVERROUILLAGE DU LHC**

E. Cennini

**Résumé**

La sécurité du Personnel et des équipements d'un accélérateur est garantie par son système d'interverrouillage. Celui-ci est chargé, par l'intermédiaire de chaînes de sécurité, d'établir et de maintenir les conditions permettant de basculer l'accélérateur entre les modes 'accès' et 'machine'. A ce jour, trois types de chaînes de sécurité ont été identifiés pour le LHC. Les chaînes 'principales' garantissent l'arrêt des faisceaux circulants et injectés. Les chaînes 'locales' regroupent les équipements de la machine par familles. Enfin, les chaînes 'tests' autorisent l'activation 'isolée' de certains équipements. L'objet de la présentation consiste à décrire les caractéristiques et les moyens mis en oeuvre pour constituer ces chaînes de sécurité. Les scénarios de mise en route et d'arrêt du LHC illustreront les fonctions remplies par le système d'interverrouillage. Il est à noter que le concept décrit découle de l'expérience et de l'enseignement acquis dans le secteur relatif à l'accès aux accélérateurs du CERN.

Presented at the 2<sup>nd</sup> ST Workshop  
Chamonix, France, February 2 - 5, 1999

## 1 INTRODUCTION

Le principe de sécurité du Personnel et des équipements du LHC découle de l'expérience acquise auprès des systèmes de sécurité actuellement en service pour les zones de faisceaux primaires du CERN. Ce principe est fondé sur la définition des zones du LHC [1], ainsi que sur les règles fondamentales suivantes :

- les zones souterraines avec verrouillage des faisceaux ainsi que les tunnels et les cavernes expérimentales du LHC doivent être vides de toute personne lorsque des faisceaux circulent,
- pour accéder aux zones ci-dessus, les faisceaux injectés et circulants doivent être arrêtés et maintenus à l'arrêt ; de plus, le niveau de radiation résiduelle doit être acceptable.

Afin de satisfaire ces règles, le LHC sera pourvu d'un système de Contrôle d'Accès et d'un système de Verrouillage des Faisceaux :

- i) Le système de Contrôle d'Accès (Access Control Systems - ACS) a pour objectif de gérer et de commander les différents équipements d'accès (portes, grilles de séparation, murs de blindage, etc.) qui délimitent l'enveloppe et les différentes zones du LHC. Tous ces équipements ainsi que tous les secteurs qu'ils délimitent, constituent les Eléments Importants de Sûreté de l'accès (EIS-accès).
- ii) Le système de Verrouillage de Faisceaux (Machine Interlock Systems - MIS) a pour objectif de gérer et de commander les équipements du LHC (collimateurs, circuits d'alimentation des aimants, systèmes de contrôle des cavités Radiofréquence, etc.). Ces équipements constituent les Eléments Importants de Sûreté de la machine (EIS-machine).

Le concept de sécurité du LHC est fondé sur le verrouillage mutuel de ces systèmes :

- Lorsque l'accélérateur est exploité par le Système de Verrouillage de Faisceaux, tous les Eléments Importants de Sûreté de l'accès doivent se trouver dans une position 'SAFE' (Sûre), et une commande de verrouillage 'VETO' interdit toute procédure d'accès (Fig. 1).
- Par analogie, lorsque l'accélérateur est exploité par le Système de Contrôle d'Accès, tous les Eléments Importants de Sûreté de la machine (EIS-machine) doivent se trouver dans une position 'SAFE' (Sûre) et une commande de verrouillage 'VETO' interdit tout changement d'état de ceux-ci garantissant ainsi l'absence des faisceaux et l'impossibilité de les injecter dans l'accélérateur (Fig. 2).

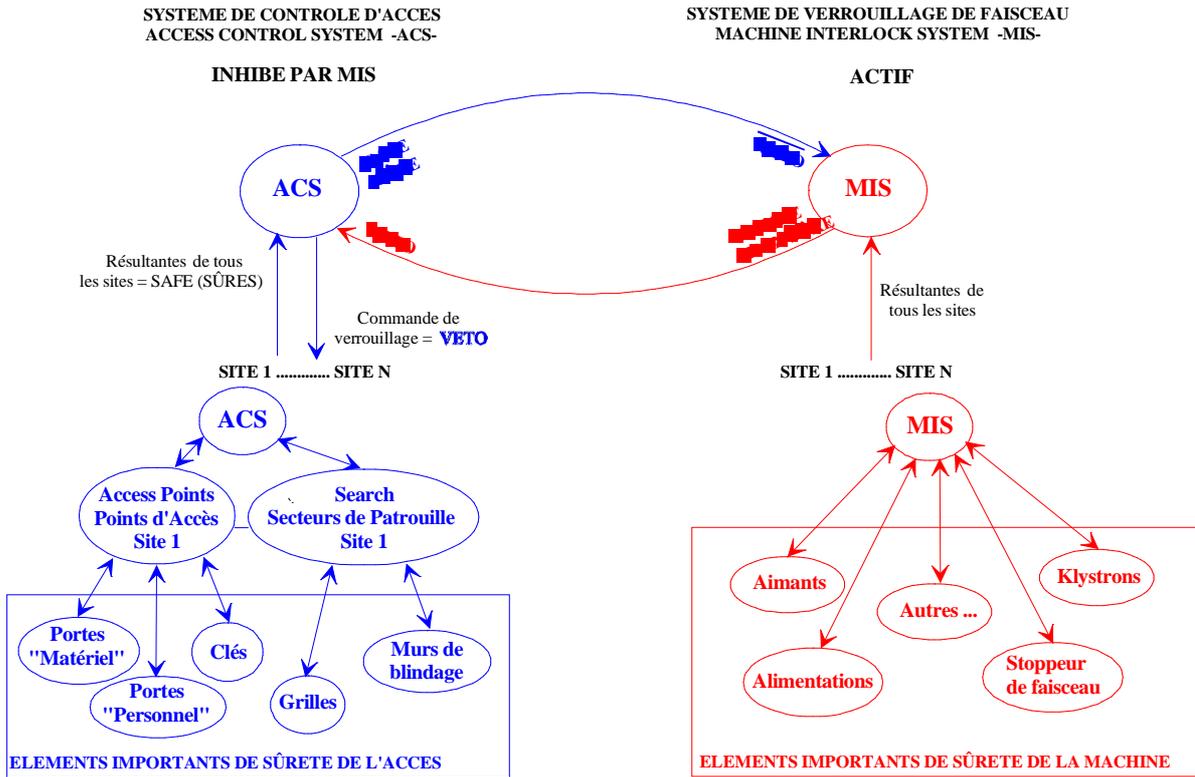


Figure 1 : Exploitation de l'accélérateur par le Système de Verrouillage de Faisceaux.

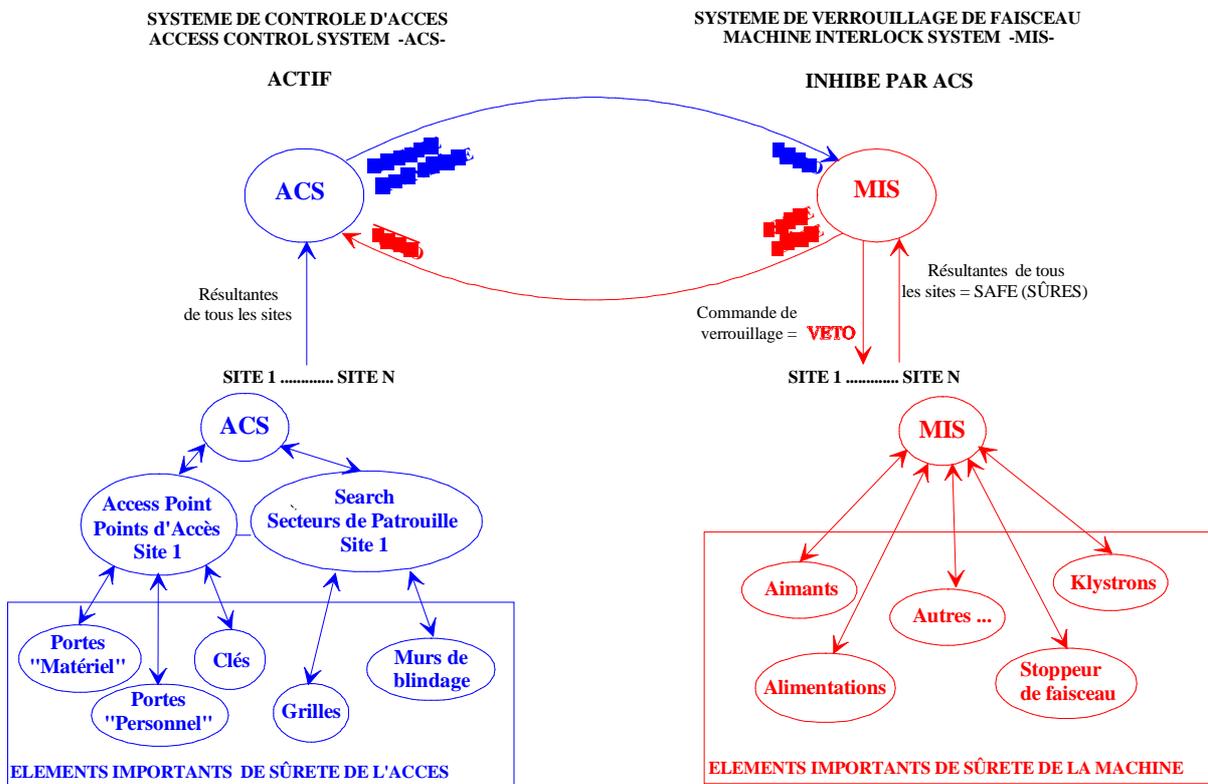


Figure 2 : Exploitation de l'accélérateur par le Système de Contrôle d'Accès.

## 2 LE SYSTEME D'INTERVERROUILLAGE

### 2.1 Etats et acheminement des signaux de sûreté des EIS

Tous les éléments constituant l'Elément Important pour la Sûreté, sont munis de deux voies de signalisation d'état (signaux de sûreté) :

- 'SAFE' ex. : porte fermée, arrêt de faisceau dans l'axe des faisceaux
- 'UNSAFE' ex. : porte ouverte, arrêt de faisceau hors axe des faisceaux.

Ces voies sont captées par des micro-rupteurs ou des contacts indépendants placés et activés directement par la position dans laquelle se trouve l'élément. La convention utilisée au sein du Système de Contrôle d'Accès pour définir l'état des EIS est la suivante :

- Position sûre :  
présence simultanée des signaux de sûreté 'SAFE' et 'UNSAFE',
- Position non sûre :  
présence simultanée des signaux de sûreté 'UNSAFE' et 'SAFE'.

Une voie de commande ou d'inhibition prioritaire '**VETO**' agit sur les organes de contrôle/commandes de l'élément pour le forcer ou le maintenir en position sûre. Ce signal est à manque de tension, l'ouverture des contacts ou la déconnexion du câble, entraîne l'élément en position sûre et empêche le mouvement en position non sûre.

Les signaux de sûreté sont raccordés par des fils directs acheminés via deux voies physiques indépendantes vers les modules d'interface avec le réseau de contrôle. Ils sont traités de manière à ce que toute présence ou absence incorrecte sur l'une des deux positions sûre et/ou non sûre se traduise par un défaut du système et entraîne, soit la mise en position sûre des Eléments de Sûreté, soit leur immobilisation. La présence simultanée des deux signaux position sûre et position non sûre est interprétée comme une faute. L'absence simultanée des deux signaux peut être interprétée comme le mouvement de l'élément d'une position vers l'autre ou la déconnexion du système.

### 2.2 Chaîne de sécurité

Les résultantes des EIS-accès et des EIS-machine calculées dans un site seront acheminées par des voies physiques indépendantes jusqu'au système d'interverrouillage centralisé dans la salle de contrôle. Ce système sera chargé de constituer les chaînes de sécurité de la machine.

Une chaîne de sécurité associe un ensemble d'EIS-accès (portes, grilles, murs de blindage, etc.) à un ensemble d'EIS-machine (collimateurs, alimentation d'aimants, systèmes RF, etc.). Chaque chaîne est caractérisée par une clé de sécurité centrale et deux modules de clés (cylindres de clé), un module pour le système ACS et un module pour le système MIS. Les opérations liées à une chaîne de sécurité et les fonctions qui en découlent sont les suivantes :

- i) Lorsque l'accélérateur est en mode 'accès', la clé de sécurité centrale reste captive dans le module de clé correspondant au système ACS. Tant que les EIS-accès de la chaîne de

sécurité ne se trouvent pas en position sûre et qu'une commande de libération de la clé n'est activée, celle-ci ne peut être libérée. Le signal d'inhibition 'VETO' appliqué aux EIS-machine de la chaîne de sécurité découle de l'absence de la clé de sécurité centrale du module de clé correspondant au système MIS et de la position non sûre des EIS-accès.

- ii) De la même manière, en mode 'machine', la clé de sécurité centrale reste captive dans le module de clé correspondant au système MIS. Tant que les EIS-machine de la chaîne de sécurité ne se trouvent pas en position sûre et qu'une commande de libération de la clé n'est activée, celle-ci ne peut être libérée. Le signal d'inhibition 'VETO' appliqué aux EIS-accès de la chaîne de sécurité découle de l'absence de la clé de sécurité centrale du module de clé correspondant au système ACS et de la position non sûre des EIS-machine.

### 2.3 Effet de 'cascade'

En mode 'machine' et dans le cas d'un passage d'urgence au sein des EIS-accès d'une chaîne de sécurité, si la position sûre des EIS-machine n'est pas confirmée dans un délai fixé, le système d'interverrouillage est capable d'agir sur les chaînes de sécurité située en amont de sorte à arrêter la machine. Là encore, si la position sûre des EIS-machine n'est pas confirmée dans un délai fixé, le système agit sur les chaînes de sécurité de l'accélérateur injecteur, en l'occurrence le SPS, et ainsi de suite. Cette fonction du système d'interverrouillage est appelée 'effet de cascade'.

### 2.4 Type de chaîne de sécurité

On distingue trois types de chaînes de sécurité :

1. **Chaîne de sécurité principale** : il s'agit de la chaîne de verrouillage contenant les EIS-machine, impliqués dans l'arrêt des faisceaux circulants et injectés ainsi que l'ensemble de tous les EIS-accès du LHC (ensemble des résultantes de chaque sites).
2. **Chaînes de sécurité locales** : il s'agit de l'ensemble des EIS-accès (portes, grilles, murs de blindages, etc.) délimitant des secteurs de la machine ainsi que l'ensemble des EIS-machine (alimentation des aimants, systèmes RF, etc.), associés à ces secteurs. Tous les EIS-machine d'une chaîne de sécurité locale doivent être arrêtés et maintenus à l'arrêt dans le cas d'un accès contrôlé ou d'un passage d'urgence.
3. **Chaînes de sécurité 'tests'** : il s'agit de l'ensemble des EIS-accès délimitant des secteurs ou des portions de la machine ainsi que l'ensemble des EIS-machine associés à ces secteurs. Tous les EIS-machine d'une chaîne de sécurité 'tests' doivent être arrêtés et maintenus à l'arrêt dans le cas d'un accès contrôlé ou d'un passage d'urgence. Toutefois, il est prévu la possibilité d'activer les EIS-machine d'une chaîne de sécurité 'tests' en mode 'accès' lorsque l'accès est donné dans les zones adjacentes et sous des conditions particulières de sécurité.

L'ensemble des dispositifs constituant les systèmes ACS et MIS est à sécurité positive. En particulier, la défaillance d'une alimentation équivaut à une ouverture de circuit et place le système MIS en position sûre.

### **3 LA CHAÎNE DE SECURITE PRINCIPALE DU LHC**

Le concept de sûreté de l'accélérateur appliqué à la chaîne de sécurité principale s'exprime de la manière suivante [2] :

- Les tunnels de l'accélérateur LHC doivent être vides de toute personne lorsque les faisceaux circulent.
- Les faisceaux circulants et injectés doivent être arrêtés et maintenus à l'arrêt. Le niveau de radiation résiduelle doit être acceptable. A ces conditions, le Personnel peut accéder aux tunnels de l'accélérateur.

Ceci s'effectue de la manière suivante :

- a) Assurer, par un triple verrouillage, l'absence de faisceaux circulants dans l'anneau par :
  - i) Extraction des faisceaux au point 6 du LHC dans les tunnels contenant les blocs absorbeurs par :
    - un signal électronique de fonctionnement des déflecteurs rapides (MKD),
    - un signal d'un moniteur d'intensité (BCM, transformateur de courant rapide), dans chaque ligne d'éjection (TD),
    - un signal provenant du bloc absorbeur indiquant l'arrivée des faisceaux.
  - ii) L'insertion des collimateurs dans l'axe des faisceaux aux points 3 et 7 du LHC pour obturer le passage.
  - iii) La fermeture des vannes à vide faisceau de chaque octant de la machine.
- b) Assurer, par un triple verrouillage sur chacune des lignes de transfert (TI2, TI8), l'injection de nouveaux faisceaux par :
  - i) la mise à l'arrêt et la consignation des alimentations des aimants dipolaires assurant les déviations horizontales et verticales des faisceaux injectés.
  - ii) la mise en place d'arrêts de faisceaux en amont de chaque ligne de transfert avec interdiction de les retirer.
  - iii) la mise en place d'arrêts de faisceaux en aval de chaque ligne de transfert avec interdiction de les retirer.

### **4 LES CHAINES DE SECURITE LOCALES ET TESTS DU LHC**

A ce jour, les chaînes de sécurité locales et tests n'ont pas encore été définies. Celles-ci seront constituées lors de la définition des EIS-machine du LHC. Cette définition permettra également de déterminer la position exacte des EIS-accès de chaque zone. Toutefois afin de faciliter l'élaboration de ces chaînes je propose de mettre en place la structure matricielle illustrée par le tableau ci-dessous :

**Tableau**

Matrice des EIS du LHC pour l'élaboration des chaînes de sécurité

<b>EIS-accès, EIS-machine du LHC</b>	<b>Chaîne 1</b>	<b>...</b>	<b>Chaîne XX</b>
EIS-accès 1	●		●
EIS-accès 2	●		●
EIS-accès 3	●		●
EIS-accès 4	●		●
EIS-accès 5	●		●
EIS-accès 6	●		●
...			
EIS-accès XX	●		●
EIS-machine 1	●		●
EIS-machine 2	●		●
EIS-machine 3	●		●
EIS-machine 4	●		●
EIS-machine 5	●		●
EIS-machine 6	●		●
...			
EIS-machine XX	●		●

## 5 CONCLUSION

La fiabilité des chaînes de sécurité du LHC nécessite une étude approfondie des aspects liés à la redondance des différents éléments constitutifs des systèmes de contrôle d'accès et de verrouillage des faisceaux. Ces aspects ont été pris en compte lors de l'analyse des recommandations émises par les instances françaises des 'Installations Nucléaires de Base' au sujet des systèmes de sécurité du LEP.

Le concept des systèmes de sécurité du LHC ainsi que les outils permettant l'élaboration des chaînes de verrouillage sont d'ores et déjà en place. Ainsi, une 'brique' supplémentaire est en cours de conception afin d'être intégrée, à temps, au sein du projet de réalisation du LHC.

### Références

- [1] E. Cennini, C. Jacot, 'Rapport Préliminaire de Sûreté du LHC', Chap III, §3.6.1 Septembre 1998.
- [2] E. Cennini, P. Collier, B. Goddard, A. Hilaire, C. Jacot, U. Jansson, M. Jonker, V. Mertens, P. Proudlock, G. Rau, G. Robin, M. Silari, A. Spinks, G.R. Stevenson, E. Weisse, 'SPS Safety Chain Modification for the LHC Transfer Lines and the Long Baseline Neutrino Facility' (SL-Note en cours de publication).