



EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE

CERN - **ST** Division

ST-Note-2002-030

15 janvier 2002

ACTIVITE CABLAGE LHC

J-C. Guillaume

Résumé

L'activité câblage LHC couvre l'étude d'installation, le tirage, le raccordement et le test des câbles de contrôle et de courant continu installés par ST-EL dans l'accélérateur LHC. Selon les renseignements actuels, le volume des câbles de contrôle représente environ 30 000 câbles pour une longueur totale de 3000 km répartis dans 14 groupes d'utilisateurs. L'activité couvre également le domaine des câbles refroidis à l'eau utilisés pour l'alimentation des aimants supraconducteurs pour des courants allant jusqu'à 13 kA.

Ce document résume la synthèse des demandes et explique la stratégie d'installation utilisée sous la forme de campagnes de câblage dans les tunnels et cavernes souterraines.

1 INTRODUCTION

L'activité câblage du LHC comprend 2 domaines importants. Le premier comprend l'étude d'installation, l'approvisionnement, l'installation, le suivi et le test de tous les câbles de contrôle (hors fibres optiques) demandés par les utilisateurs sur le site du LHC. Cette première partie est la plus importante. Elle représente financièrement environ 77 pour cents du projet.

Le deuxième domaine comprend l'étude, la définition, l'approvisionnement, l'installation, le suivi, la réception et la mise en œuvre des lignes courant continu qui relient les convertisseurs aux amenées de courant.

Une première estimation des besoins a été établie dans le courant du mois d'octobre 2001. Celle-ci doit être tenue à jour en fonction de nouvelles données suite à l'évolution du projet. Actuellement, il subsiste encore des incertitudes qui ne nous permettent pas d'acheter les câbles en grandes quantités et de procéder à la préparation des câblothèques et à l'organisation des campagnes. Un chapitre spécial est dédié à ce problème.

2 GENERALITIES

L'étude du volume de câbles par zones permet d'une part de prévoir toute l'infrastructure d'échelles à câbles et des ouvertures génie civil pour le passage des câbles dans les tunnels machine, dans les galeries UA, UL et dans les puits, et d'autre part nous a permis d'estimer quantitativement et financièrement le câblage du LHC.

Nous avons pu également évaluer le temps nécessaire au tirage et au raccordement des câbles et établir une séquence de câblage.

2.1 Etude et intégration

Tout en respectant le rythme et les priorités données par les groupes de travail PSIWG, PIWG, MIWG et TEWG, le bureau d'étude ST-EL intègre en 3 dimensions les échelles à câbles et leur support, nécessaire au câblage du LHC.

L'intégration des échelles à câbles dans les coupes tunnel est bien avancée pour la partie arc machine. Les parties droites sont en cours d'étude.

Les layouts d'installation des ouvrages des services (UA, US, UJ) sont en cours de finition. Y figurent les équipements principaux ainsi que les convertisseurs et les racks. Ces plans serviront par la suite aux utilisateurs pour établir leurs Demandes d'Installation des Câbles (DIC) indispensables pour que le câble puisse être installé.

2.2 Approvisionnement du matériel

Le groupe ST-EL est chargé de l'approvisionnement du matériel standard qu'il installe (câbles, connecteurs, racks et coffrets bus de terrain). Pour cela, il dispose de 4 sources d'approvisionnement différentes ; chacune d'entre elle étant complémentaire.

2.2.1 Contractant ST-EL (Contrat C170)

Il est prévu que le contractant C170 approvisionne les câbles de puissance rigide (classe2) ainsi que les câbles de mise à la terre. Ces fournitures font partie de fabrications standards que l'on trouve chez la plupart des câblers.

2.2.2 Magasin Central CERN

Le magasin central dispose de contrats cadre pour l'approvisionnement des câbles et connecteurs standards que l'on trouve dans le catalogue magasin. Il est prévu d'approvisionner environ 85 % des câbles de cette façon.

2.2.3 Appel d'offres ST-EL

Lorsque la quantité est importante et que le type de câble n'est pas standard magasin, il est prévu que le groupe ST-EL s'occupe de toutes les phases d'approvisionnement. Cela concerne principalement les

câbles coaxiaux demandés par SL-BI, les câbles multiconducteurs avec double blindage ainsi que le câbles à perte. (câble antenne)

2.2.4 Cas particulier : approvisionnement client

Lorsque le type de câble est particulier à une application et demande des tests et des vérifications spéciales ou que les quantités sont faibles, il a été demandé aux utilisateurs de se charger eux-mêmes de l'approvisionnement des câbles. C'est le cas pour les câbles RF et câbles spécifiques SL-BI.

2.2.5 Approvisionnement des racks et coffrets bus de terrain

Les racks que nous devons installer sont ceux que l'on récupère du LEP. Un bilan des besoins et des quantités disponibles montre qu'il nous manque 200 racks environ auquel il faut ajouter des panneaux latéraux et des portes. L'approvisionnement se fera via le magasin central CERN.

Le matériel utilisé pour les bus de terrain (coffrets et connecteurs) a été standardisé par le groupe de travail 'Working Group on Fieldbuses'. Ce matériel sera approvisionné par le contrat Schneider via ST-EL sur le code budgétaire retenu pour le câblage machine.

2.3 Budget

Le budget du câblage contrôle se trouve actuellement répartis dans les groupes d'utilisateurs. Une stratégie de financement couvrant la fourniture et l'installation des câbles standard est en cours d'élaboration. Elle vise à utiliser un seul code budgétaire de façon à réduire le suivi administratif ainsi que le coût.

Au travers des codes réseau utilisés en câblothèque, il sera possible, pour chaque groupe, de suivre les dépenses. Ce programme doit encore être développé.

Le budget réservé au câblage puissance DC se trouve dans le groupe ST-EL.

3 METHODE DE TRAVAIL

La méthode de travail utilisée est connue de la plupart des utilisateurs et est en vigueur depuis plus d'une dizaine d'années. Elle est décrite dans la note CERN-ST-2000-056, objet d'une présentation précédente à Chamonix.

4 CABLES DE CONTROLE ET DE PUISSANCE DC

Le câblage contrôle comprend essentiellement toutes les liaisons en câbles multiconducteurs de toutes sections de 0.12 à 1.5 mm² CU souple ainsi que les câbles coaxiaux de toutes natures.

Les câbles cuivre courant continu couvrent les sections allant de 16mm² jusqu'à 400 mm² et sont de type souples standards (classe 5). Ils sont installés entre les convertisseurs situés dans les cavernes UA, UJ et RR et les amenées de courant solidaires des DFB.

4.1 Résultats quantitatifs

Les résultats obtenus lors de notre première enquête ont montré que 15 groupes issus de 5 divisions étaient impliqués. (Voir annexes 1A & 1B).

Le nombre de câbles est estimé à 30 000 et le total des longueurs estimées atteint environ 3000 km tous types de câbles confondus. Le tableau situé en annexe montre la répartition des quantités. Le coût total a été estimé à 30 MCHF environ. Le coût moyen d'un mètre de câble comprenant la fourniture, la pose et le raccordement est de l'ordre de 10 CHF environ.

A ce total, il faudra encore ajouter toutes les liaisons qui devront être installées dans les puits et en surface (sauf SL-HRF). Il faut également ajouter toutes les petites liaisons de rack à rack qui n'ont pas pu être définies dans ce bilan.

4.2 Outils informatiques

ST-EL dispose depuis cette année d'une câblothèque remise à jour et qui fonctionne en relation directe avec d'une part notre outil de gestion des marchés (GESMAR) et d'autre part avec notre outil de gestion du matériel CERN. (MODULE_MAGASIN)

4.3 Contractant

Le contrat C171 spécialisé dans l'installation de câbles et de connecteurs est particulièrement adapté pour les travaux d'installation sous forme de campagnes de tirage et de raccordement. Le rabais financier évolue en fonction du volume de travail et peut atteindre un maximum de 17 pour cents.

Ce contractant, en activité au CERN depuis juillet 2001, étudie actuellement les moyens en personnel et en matériel qu'il faut mettre en œuvre pour l'installation du LHC. La mise en place d'un plan qualité est en cours, ce dernier sera opérationnel dans le courant du mois de février 2002 pour le shut-down des accélérateurs.

4.4 Séquence d'installation

La séquence de câblage dans le tunnel machine montre que nous intervenons en trois phases différentes. Les campagnes de tirage principales dans le tunnel sont situées après l'installation du câblage courant alternatif et avant l'installation de la QRL.

Une fois celle-ci installée, nous intervenons une seconde fois pour réaliser le câblage local et une petite et ultime campagne de tirage. Lorsque les cryo dipôles seront installés, nous intervenons une dernière fois pour la phase de finition qui comprend le montage des connecteurs et le test des lignes.

Lorsque les câbles sont tirés, les équipements tenants et aboutissants ne sont pas encore installés. Il est important que leur position soit rigoureusement repérée au sol.

4.5 Planning d'installation

Le tunnel LHC a été divisé en 32 parties dont 16 parties droites (env. 300mètres depuis IP jusqu'à DC7) et 16 parties courbes (DC8 jusqu'à DC34).

4.5.1 Tunnel parties courbes

Les parties courbes situées autour des alvéoles comprennent environ 400 câbles pour une longueur unitaire de 32 kilomètres par alvéole. La progression du tirage de câbles ira du plus loin au plus près de l'alvéole pour laisser la place à la réalisation des connecteurs.

4.5.2 Tunnel parties droites

Les parties droites sont plus difficiles à estimer et sont toutes différentes. La plupart des équipements seront absents lors de l'installation des câbles. Les câbles reliant des équipements entre UA et RA ainsi que ceux situés dans le RA seront groupés ensemble dans la même campagne. Une campagne correspond typiquement à 2200 câbles pour une longueur estimée à 200 km.

4.5.3 Ouvrages de services et puits

Une campagne supplémentaire qui regroupe les câbles situés dans les parties UA et US de chaque point doit être envisagée. L'installation des câbles dans les puits PM doit encore être étudiée.

4.5.4 Cas particulier : Le câble antenne

Ce câble, installé dans tous les ouvrages LHC y compris dans le tunnel et les puits, sera posé en même temps que les services généraux. Il doit être fixé sur un support spécial distant de tout objet de 8 centimètres minimum.

4.6 Installation

Le temps de tirage d'un kilomètre de câble varie largement en fonction de son diamètre, de son poids, de sa souplesse, de sa fragilité et de la complexité de son cheminement. Cela peut aller de 5 à 30 heures selon le cas.

4.6.1 Parties courbes

Le tirage des câbles dans les parties courbes ne pose pas de problèmes particuliers si ce n'est que les cheminements distincts entre les câbles de contrôle et les câbles de puissance AC et DC doivent être respectés. L'acheminement des tourets sur le lieu de tirage est assuré par le groupe transport ST-HM au moyen de chariots adapté. Le nombre de personnes par campagne dans les parties courbes a été estimé à 10. Compte tenu des quantités connues aujourd'hui, le temps d'intervention total a été estimé à 10 semaines.

4.6.2 Parties droites

Le câblage dans le tunnel RA ainsi que les liaisons UA – RA sera traité en priorité. De la même façon, le câblage dans les parties droites et UJ des points impairs sera traité en priorité de façon à laisser l'espace libre pour l'installation de la QRL.

Une campagne spéciale de tirage devrait avoir lieu à la suite ou bien plus tard pour couvrir les besoins en câbles dans la partie UA et UJ impairs.

Compte tenu des quantités connues aujourd'hui, le temps d'intervention total a été estimé à 20 semaines. Le nombre de personnes par campagne a été estimé à 15.

5 LIGNES COURANT CONTINU REFROIDIES

Les liaisons refroidies à l'eau déminéralisée sont composées d'une succession de tubes et de câbles refroidis et sont utilisées pour l'acheminement du courant allant de 3,5 à 13 kA. Dans les ouvrages UA et RA, elles sont fixées en voûte au moyen de supports isolants et dans les ouvrages RR, elles cheminent sur des échelles à câbles. Pour réduire le coût, dans les parties rectilignes, on utilisera les tubes et ailleurs, on utilisera les câbles flexibles.

5.1 Résultats quantitatifs

A partir de la base de données des lignes DC constituée par la division LHC et des plans de câblage réalisés par le bureau d'études ST-EL la section des câbles a été définie. Le tableau en annexe 2 résume les besoins en matériel qu'il faut intégrer et installer dans les UA, UJ et RR.

5.1.1 Description du matériel

Un câble refroidi est constitué d'une gaine en caoutchouc renforcé dans laquelle on installe une tresse de cuivre souple munie à chaque bout d'une cosse suivre. La gaine est sertie à chaque extrémité sur le fût de la cosse. La connexion d'eau est fixée sur la cosse. Les sections retenues pour le LHC sont 800, 1000, 1300 et 2000 mm².

5.1.2 Jonction spéciale

La jonction entre tubes et câbles est formée d'un cône cuivre permettant le passage du courant au centre duquel se trouve le passage de l'eau déminéralisée. Celui-ci a été développé par le CERN et par l'industrie et a été utilisé avec succès au String2. Ce système est également utilisé pour les jonctions entre le système de protection du circuit et le convertisseur 13 kA au LHC.

5.2 Installation

5.2.1 Contraintes

Les câbles refroidis transitent entre les ouvrages UA et RA par des fourreaux génie civil. Leur diamètre maximum étant de 250 millimètres, le diamètre extérieur des câbles refroidis 2000 mm² ne peut aller au-delà de 110 mm. Un test de faisabilité a été réalisé au String2.

Les supports ainsi que les tubes seront installés dans les UA avant les convertisseurs. Les parties flexibles doivent être installées lorsque les convertisseurs sont en place et avant l'installation de la DFB. Ce point reste à préciser.

5.3 Contractant

L'étude, la fabrication, l'installation et la mise en service des lignes refroidies seront assurées par le même contractant. L'enquête préliminaire a été effectuée, l'appel d'offre est en cours de rédaction.

6 CONDITIONS DE REUSSITE

La stratégie d'installation basée sur les campagnes de tirage d'une part et le regroupement des commandes pour l'approvisionnement des câbles auprès du magasin central vont permettre de réduire le coût du câblage.

La séquence d'installation, le planning établi, l'estimation financière et les moyens mis en oeuvre tiennent compte des informations reçues lors de la première évaluation.

6.1 Besoins urgents

Les installations de câbles débutent dans le courant du mois de septembre par l'octant 7-8 et il est urgent de confirmer les quantités établies afin de concrétiser les commandes de câbles. Si certains groupes ont manifesté leur besoins et ont déjà donné leur DIC, d'autres groupes doivent encore le faire.

Compte tenu du volume de travail, du nombre de campagnes en parallèle qui sont planifiées, nous avons besoin des informations pour la fin du mois de janvier 2002 afin de procéder à l'achat des câbles et à l'organisation des campagnes.

6.2 Conséquences

S'il fallait multiplier les campagnes et intervenir en plusieurs phases de tirage dans le tunnel, le CERN perdrait le bénéfice du rabais sur la quantité à tous les niveaux et les moyens humains qu'il faudrait mettre en oeuvre seraient plus importants car étalés dans le temps.

Un calcul comparatif a montré qu'il était possible, en travaillant sous la forme de grosses campagnes de tirage (supérieures à 100 000 CHF) de réduire le coût global de tirage de l'ordre de 9 pour cent. Ce à quoi on peut ajouter le gain sur la fourniture du câble lorsqu'il est commandé en grandes quantités auprès du magasin central.

7 CONCLUSIONS

Le CERN traverse une période où la réduction des coûts à tous les niveaux est une priorité. Le câblage d'un accélérateur n'y échappe pas. Les procédures mises en place, la séquence de câblage du LHC ainsi que les contrats de fourniture du matériel vont tous dans ce sens et nous en faisons une priorité. Pour atteindre notre objectif, nous avons besoins que les informations qui nous manquent (DIC) nous parviennent très rapidement.

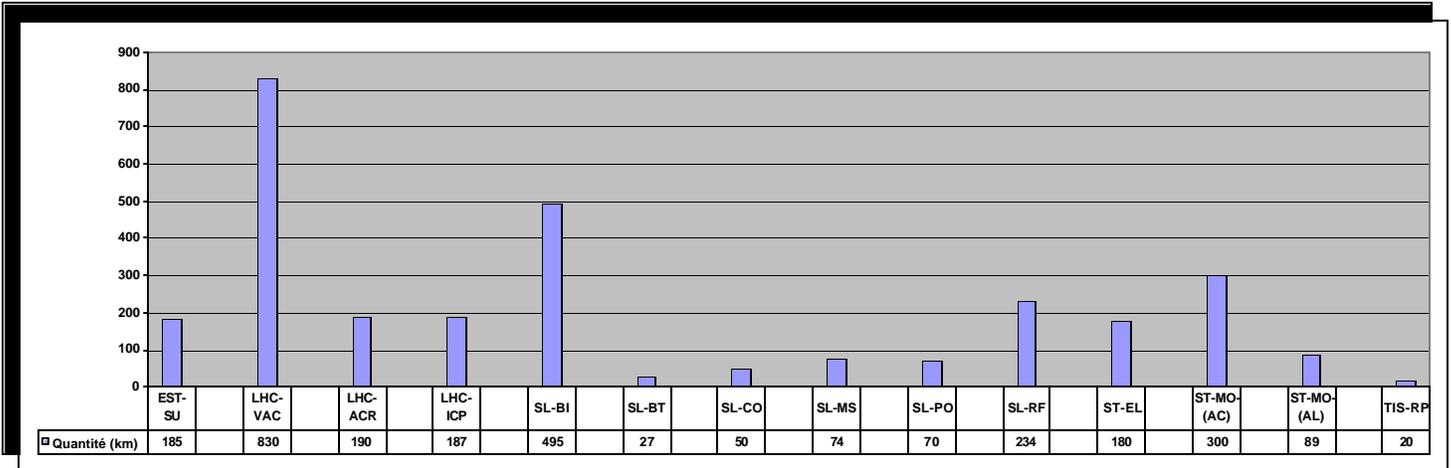
Toutes les indications quantitatives contenues dans ce document doivent être confirmées lorsque de plus amples informations nous parviendront. C'est la suite logique de notre travail pour cette année 2002.

ANNEXES :

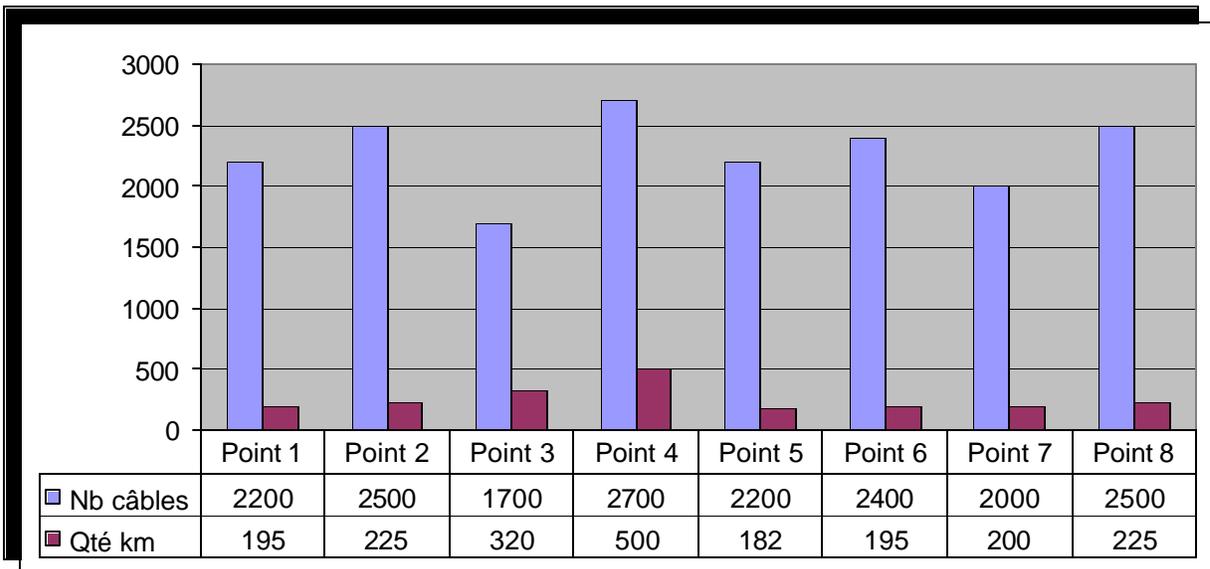
Estimation du matériel pour les câbles de contrôle et puissance DC /utilisateur et par zone.

Estimation du matériel pour les câbles refroidis à l'eau.

Annexe 1 A : Estimation du matériel pour les câbles de contrôle et puissance DC / utilisateur.



Annexe 1 B : Estimation du matériel pour les câbles de contrôle et puissance DC / zone.



Annexe 2: Estimation de la quantité de matériel pour les câbles refroidis

| <u>Articles</u> | <u>Unité</u> | <u>UA</u> | <u>RR</u> | <u>UJ</u> | <u>RZ54</u> | <u>RR</u> | <u>Qté</u> |
|------------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------|---------------|
| (Version 6.3 - approximation) | | <u>2&8</u> | <u>1&5</u> | <u>1&3</u> | <u>& R57</u> | <u>7</u> | <u>Totale</u> |
| Câbles 800 / 1000 mm2 | m | 4016 | 948 | 200 | 114 | | 5278 |
| Câbles 1300 mm2 | m | 880 | | | 108 | | 988 |
| Câbles 2000 mm2 | m | 800 | 28 | 30 | | 14 | 872 |
| Tube 2000 mm2 | m | 1880 | | | | | 1880 |
| Cosses 800 / 1000 mm2 | pc | 348 | 184 | 40 | 8 | | 580 |
| Cosses 1300 mm2 | pc | 48 | | | 8 | | 56 |
| Cosses 2000 mm2 | pc | 96 | 8 | 4 | | 4 | 112 |
| Connect. Câble fem dr 2000 | pc | 48 | 8 | 4 | | 4 | 64 |
| Connect. Câble fem coud 2000 | pc | 192 | | | | | 192 |
| Connect Tube mâle 2000 | pc | 192 | | | | | 192 |
| Supports standards (UA) | pc | 240 | 40 | 40 | 10 | 6 | 336 |
| Supports spéciaux (RA) | pc | 8 | | | | | 8 |
| Pièces isolantes | pc | 240 | | | 10 | | 250 |
| Connexion au circuit d'eau (ST-CV) | pc | 184 | 52 | | 4 | 4 | 244 |
| Eletta | pc | 104 | 52 | | 4 | 4 | 164 |