



CERN - TS Department

EDMS Nr: 473728
Group reference: TS-MME

TS-Note-2004-017
4 May 2004

BOITES DE DISTRIBUTION POUR L'ALIMENTATION ELECTRIQUE DU LHC

P. Trilhe

Abstract

En tant qu'unité d'engineering mécanique et matériaux, le groupe MME est en charge de la conception et des dossiers de spécification des DFBA, DFBL & DFBLM (Electrical Distribution Feed Boxes) du LHC. Ces équipements complexes ont pour fonction principale l'alimentation électrique de puissance des aimants de la machine. Au total 34 types de DFB différents seront nécessaires, comportant quelque 1200 amenées de courant supraconductrices et résistives de 120 A à 13000 A. Pour les besoins urgents du test dans le secteur 7-8 du LHC, le groupe a été également sollicité pour réaliser les dossiers des plans de fabrication, fabriquer et assembler 2 versions de DFBA (la DFBLM et la DFBAO), ainsi que les amenées de courant correspondantes d'ici mai 2005. Cette opération requiert l'utilisation de nombreuses compétences du groupe. Plus de 500 plans de fabrication seront produits et plusieurs spécifications techniques seront établies. Une collaboration rapprochée entre le bureau d'étude et l'équipe de fabrication permet (pratiquement) en temps réel de choisir les techniques de production et d'assemblage les mieux appropriées. Des tests de faisabilité sont effectués, si nécessaire. La note décrit les enjeux techniques des DFB, mais aussi le processus multidisciplinaire menant de la conception à la réalisation sous la contrainte d'un calendrier très serré.

1 ELECTRICAL DISTRIBUTION FEED BOXES (DFB) POUR LE LHC

1.1 Fonction

En tant que boîtier de distribution pour l'alimentation électrique de puissance du LHC, les DFB doivent :

- Assurer la transition des câbles en cuivre venant des sources de courants chauds des convertisseurs de puissance vers les aimants supraconducteurs, par l'intermédiaire d'amenées de courants à supraconducteur « haute température » (HTS).
- Fournir les conditions cryogéniques nécessaires à l'exploitation sûre des amenées HTS et des bus bars supraconducteurs pour tous les modes d'opération de la machine.
- Soutenir mécaniquement les amenées HTS tout en reprenant l'ensemble des forces dues au vide d'isolation et aux différentes conditions de fonctionnement.
- Alimenter en hélium gazeux à 50 K, via un « jumper » connecté à la ligne cryogénique (QRL), l'écran thermique des aimants de l'arc.
- Assurer l'intégrité des amenées de courant HTS dans toutes les phases de manipulation, de transport et d'intégration.
- Résister au nombre requis de cycles de pression et de température, tout au long de la vie du LHC.

Quelque 1200 amenées de courant de 120 A à 13000 A, disposées dans les différentes DFB, relient le conducteur en cuivre à 293 K au supraconducteur plongé dans l'hélium à 4,5 K.

1.2 Types et quantités

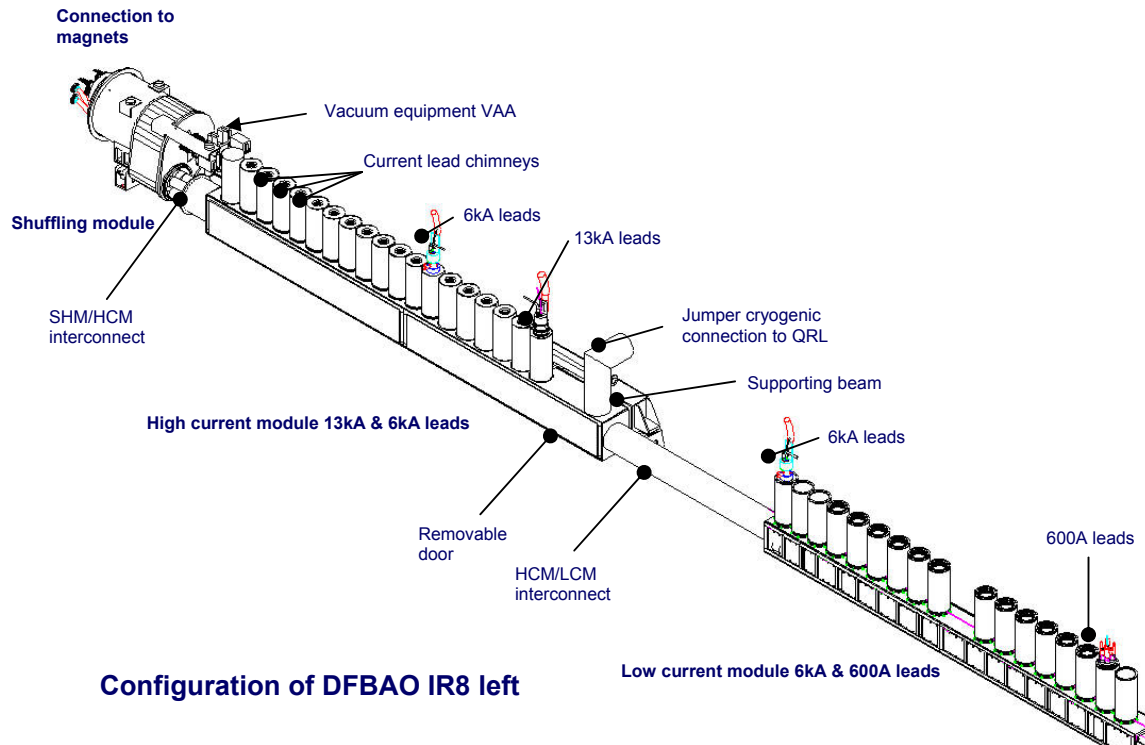
1.2.1 DFBA

Au nombre de 16, toutes différentes, elles alimentent électriquement les aimants principaux dipolaires et quadripolaires de l'arc. Elles intègrent des amenées de courant de 13 kA, 6 kA, 600 et 120 A. Elles sont disposées à l'extrémité des octants.

1.2.1.1 Caractéristiques principales

Les DFBA sont composées de 3 parties principales :

- Le « Shuffling Module », dont la fonction est d'assurer le routage correct des câbles supraconducteurs et supporter les tubes faisceau tout en reprenant les forces mécaniques.
- Le module haut courant, dans lequel sont installées les amenées de courant 13 et 6 kA, relié rigidement au « shuffling module ».
- Et, pour 12 configurations, le module bas courant dans lequel sont installées les amenées 6 kA, 600 et 120 A. Les modules haut et bas courant sont reliés entre eux de manière flexible.



Configuration of DFBAO IR8 left

Fig. 1 : Configuration d'une DFBA

La DFBAO mesure près de 20 m de long, 2 m de haut, 1,2 m de large et pèse plus de 13 t.

1.2.2 DFBM

Au nombre de 23, et de 13 types différents, elles alimentent les aimants des « matching sections ». Elles sont conçues sur le même principe que les « Low current module » (voir Fig. 2).

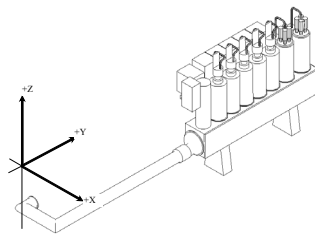


Fig 2 : Configuration d'une DFBM

1.2.3 DFBL

Au nombre de 5, installées dans des cavernes du LHC, elles alimentent, via un « link » supraconducteur, les aimants dans des zones peu accessibles.

C'est la juxtaposition de 2 DFBM interconnectées entre elles (voir Fig. 3).

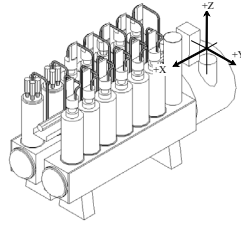


Fig. 3 : Configuration d'une DFBL

1.3 Exigences de service et d'installation

La construction a pris en compte les exigences suivantes :

- L'interchangeabilité in situ des amenées de courant HTS, en un minimum de temps.
- L'installation dans un volume restreint du tunnel LHC.
- La standardisation des composants pour obtenir la plus grande modularité possible.
- La réalisation d'une interconnexion « standard » avec les aimants de l'arc.
- La simplification du routage des câbles chauds depuis les convertisseurs de puissance.
- Le supportage des systèmes de vide pour les faisceaux ; incluant les tubes froids, les écrans de faisceau, les circuits de thermalisation et les transitions chaud-froid, avec une influence électromagnétique minimum sur l'optique faisceau du LHC.
- La possibilité d'interconnecter et d'aligner les tubes faisceau et l'enceinte à vide.

1.4 Planning

Les premières DFB, DFBAN et DFBAO, doivent être opérationnelles en mai 2005, mais disponibles pour les tests dès janvier 2005 pour la première. Mais au delà de ce délai très court il ne faut pas perdre de vue que l'ensemble des autres boîtes doivent être installées au rythme moyen d'une par mois. Le planning dans le tunnel est coordonné par le groupe Installation et coordination (TS-IC).

2 WORKPACKAGE DFBAO ET DFBAN

2.1 Objectifs

Pour le test du secteur 7-8 du LHC, la fabrication de deux DFBA a été confiée au groupe TS-MME pour opération en mai 2005. La première DFBAN, à droite du point 7, est constituée d'un module haut courant et d'un shuffling module. La DFBAO à gauche du point 8 est constituée d'un module haut courant, d'un module bas courant et d'un shuffling module. Les modules sont reliés entre eux par des interconnexions étanches au vide assurant la continuité électrique. Les amenées de courant correspondantes au nombre de 46 font l'objet d'un workpackage pour le groupe TS-MME séparé, mais elles doivent être considérées comme partie intégrante des DFB. A la demande du projet LHC, une traçabilité poussée va être mise en place pour la fabrication. A l'aide d'outils informatiques mis à disposition par le groupe TS-CSE (tel que EDMS et MTF), les sous-ensembles principaux seront numérotés et leurs composants identifiés avant d'être installés dans la machine.

2.2 Stratégie de production

Les composants en grande série et sans complexité seront fabriqués dans l'industrie. Les ensembles multi technologie seront assemblés au CERN. Les bus bar seront fournis par BINP (Novossibirsk). Les composants et sous-ensembles seront assemblés au CERN dans le hall 181, par une équipe venant du laboratoire IHEP (Protvino). Les cartouches des amenées de courant seront pré-montées par le groupe AT/ACR. La première phase de l'assemblage consiste à implanter les cartouches des amenées de courant, les tubes cryogéniques et les bus bar sur la platine supérieure des modules haut et bas courant. Après mise en place de la thermalisation, ce pré-montage est introduit dans le caisson en U et soudé-vissé. Les plaques d'extrémité sont ensuite soudées en MIG. Les shuffling box sont fabriqués dans

l'atelier du groupe TS-MME puis mis en cryostat dans le hall d'assemblage. Le shuffling box est lié à la poutre et le module haut courant y est fixé. Après la réalisation de l'interconnexion, l'assemblage pré-aligné est prêt pour le test et le transport en un bloc, excepté le module bas courant.

Les enceintes à vide - étant considérées comme appareils à pression selon CODAP - seront assemblées selon le niveau de qualité B, sauf cas particuliers qui feront l'objet d'une qualification de mode opératoire de soudage. D'une manière générale pour les tubes, les assemblages bout à bout sont préférés. Ils offrent une meilleure qualité et reproductibilité. Les piquages seront extrudés à chaque fois que les diamètres et épaisseurs le permettront.

La matière choisie pour les éléments exposés à température cryogénique est de l'acier inoxydable AISI 316 LN selon spécification CERN et le 304 L usage courant pour les enceintes à vide et supports mécano-soudés. La thermalisation des caissons est en cuivre et les éléments isolants en fibre de verre.

L'assemblage des amenées de courant fait appel à quatre techniques différentes disponibles dans le groupe TS-MME : brasage basse température, brasage sous vide, soudage par faisceau d'électrons et TIG. L'encombrement réduit et les ajustages pour le brasage sous vide requièrent des usinages particulièrement soignés. Par exemple, le tube inox entourant l'échangeur à ailettes en cuivre, est obtenu par honage avec une tolérance de 0.015 mm sur le diamètre de 30 mm.

2.3 Organisation du projet

Afin de faire face au défi de réaliser dans un temps extrêmement court les deux premières DFB, il a été nécessaire de mettre en place une structure appropriée, coordonnant le travail du bureau d'études et des ateliers (voir Fig. 4).

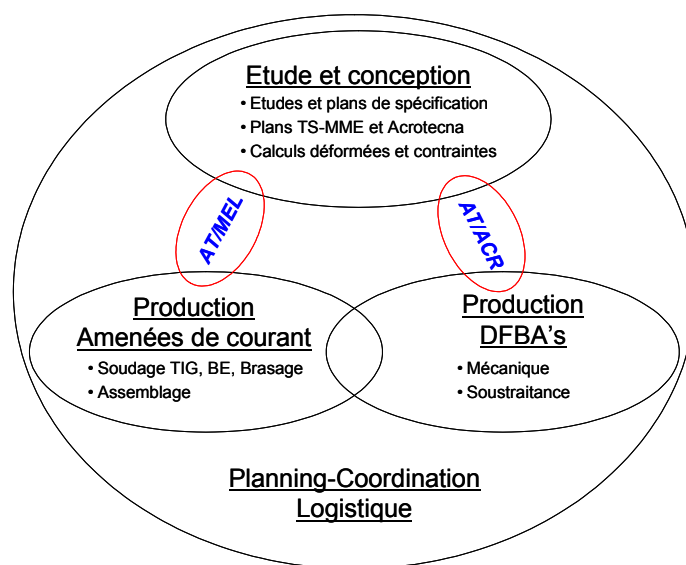


Fig. 4 : Schéma de l'organisation du projet

2.4 Déroulement et résultats obtenus

Depuis octobre 2004, les progrès suivants ont été réalisés :

- 62% des plans DFBAO et DFBA's sont lancés.
- Quatre amenées de courant 600 A sont terminées.
- Un modèle de caisson DFB a permis de valider une solution simplifiée de cette pièce (profil en U au lieu de L).
- Fond bombé intérieur pour shuffling module solution forgé et usiné au lieu de mécano soudé.

- Réalisation d'un prototype de collecteur.
- Lancement de la fabrication de 3 pieds froids pour le shuffling module.

3 DU CONCEPT A LA REALISATION

3.1 Un travail fortement interactif

La force de la collaboration directe entre le bureau d'études et l'atelier TS-MME est de permettre d'influer le plus tôt possible la conception du produit pour assurer une réalisation fonctionnelle avec le meilleur rapport qualité/prix. Le travail en commun des professionnels de la mécanique, de l'assemblage, des spécialistes des matériaux et des projeteurs permet d'obtenir ce résultat. Cette approche « méthodes » permet de définir les gammes opératoires et de lancer les plans de détail et de fabrication prêts à l'emploi. L'implication du groupe interne « Expertise et Coordination », très tôt dans le projet, a permis d'orienter les études vers des solutions industrielles.

C'est ainsi qu'a pu être améliorée la conception de l'enceinte à vide où sont insérées les amenées de courant HTS. Au lieu d'une section en L sur laquelle un cadre mécano soudé était rapportée, la géométrie a évolué vers une section en U, beaucoup plus simple à réaliser, qui garantit une bien meilleure stabilité. La plupart des solutions sont validées par la réalisation de modèles ou prototypes.

3.2 Gestion des imprévus

Seules les grandes lignes et conditions de fonctionnements étaient connues au moment de commencer la conception des DFB. Le projet a donc évolué constamment au fur et à mesure de l'avancement des études et des résultats des calculs. Cela demande une grande souplesse et une bonne réactivité de la part des intervenants. D'autant que, par le fait d'un planning très serré, la fabrication a dû commencer alors que les études ne sont pas encore terminées.

3.2.1 Exemples

Les physiciens de la machine souhaitant augmenter l'ouverture dans la zone où sont installés les DFBA, une ECR (Engineering Change Request) impose de changer le diamètre des tubes froids, en les faisant passer de 50 mm à 63 mm. Il a donc fallu coordonner les modifications aux commandes en cours, de manière à ne pas influencer sur le travail chez les sous-traitants et répercuter l'impact sur les travaux réalisés en interne.

Les derniers résultats des calculs montraient que les contraintes, dans la liaison entre différentes parties des DFBA, étaient beaucoup trop importantes. Le re-dimensionnement des composants, en liaison avec les experts de la fabrication, a permis de contourner ce problème sans impact sur le planning.

3.3 Exemple : Support du shuffling module

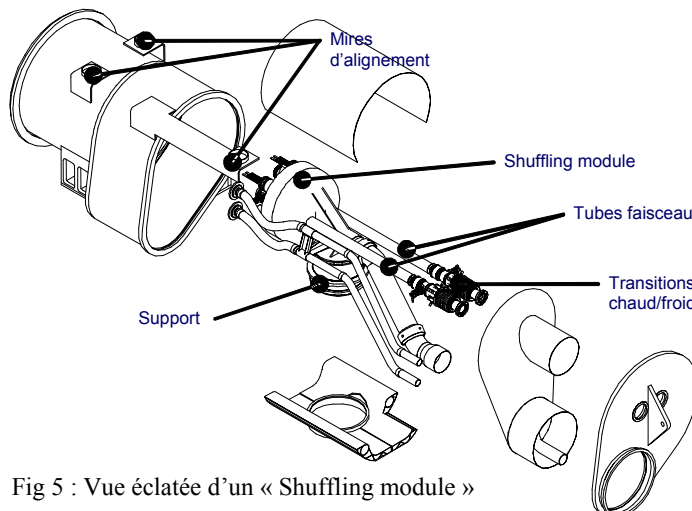


Fig 5 : Vue éclatée d'un « Shuffling module »

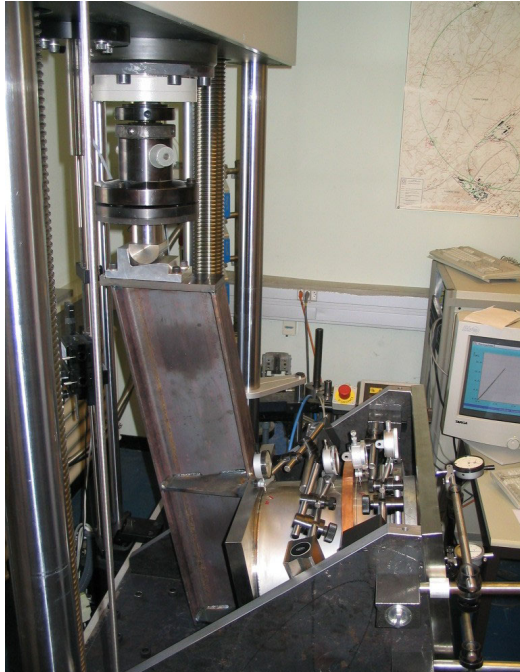


Fig. 6 : Pied sur presse de test contraintes

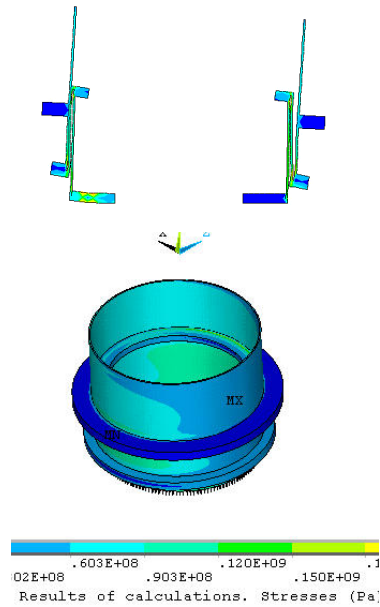


Fig. 7 : Calcul de déformée et

C'est grâce au pied support unique que la stabilité de l'ensemble de la partie froide du « shuffling module » est assurée.

Compte tenu des tolérances d'alignement des tubes faisceau demandées et du besoin de minimiser la charge thermique sur le bain d'hélium à 1,9 K, il a fallu optimiser, grâce au calcul, sa géométrie.

Les essais mécaniques (voir Fig. 6), réalisés par le groupe TS-MME, ont fait apparaître une différence entre le déplacement angulaire calculé (voir Fig. 7) et mesuré sous la charge de 60275 N. Bien qu'inférieur à 12 % et s'expliquant par le changement des propriétés mécaniques du tube externe, lors du brasage de l'anneau de thermalisation en cuivre, qui avait été minimisé, il a fallu prendre des mesures.

L'installation d'un appui actif auxiliaire en partie haute agissant proportionnellement à l'augmentation de pression à l'intérieur du shuffling module pour respecter la spécification mécanique sans augmenter la charge thermique sur le 1,9 K, a été choisi.

4 CONCLUSION

Pour tenter de mener à bien la réalisation d'un projet, pour lequel la pression du temps impose de déroger aux règles classiques, une coordination étroite entre les 3 grands pôles du groupe TS-MME (bureau d'études, atelier et science des matériaux) a été mise en place.

C'est avec cette organisation que nous espérons relever le défi de concevoir, fabriquer et installer aussi bien des amenées de courant que des DFB's du secteur test dans les délais.