



**Rapport final de la Collaboration CERN-CNRS pour la construction du LHC:
Accord Technique d'Exécution No 2
Cryostats et assemblage des sections droites courtes (SSS) du LHC**

J.B. Bergot¹, F. Lutton¹, A. Poncet², P. Rohmig³, E. Roy¹, D. Vincent¹

Résumé

Depuis 1995 et suite à la signature du protocole de Collaboration, le CERN, le CEA et le CNRS ont étroitement collaboré dans le cadre de la contribution exceptionnelle de la France à la construction du LHC. Pour le CNRS, l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay a pris en charge deux Accords Techniques d'Exécution. Le premier concerne la conception et l'assemblage des Sections Droites Courtes de la machine, et le deuxième, l'étalonnage des thermomètres cryogéniques du LHC.

Dans le cadre de l'Accord Technique d'Exécution N°2, le Bureau d'Etudes de la Division Accélérateur de l'IPNO et le groupe AT-CRI du CERN ont travaillé de concert pour mener à bien la conception des SSS (Short Straight Section) et de tous les équipements nécessaires à l'assemblage.

Ce rapport a donc pour objectif de dresser, en termes d'historique, d'organisation, de résultats quantitatifs et qualitatifs et de moyens mis en œuvre, un tableau aussi complet que possible du déroulement de cette Collaboration entre le CERN et le CNRS.

1 CNRS/IN2P3, Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, Orsay, France

2 CERN, Département "Technologie des Accélérateurs", Genève, Suisse

3 Ex-membre du CERN, Département "Technologie des Accélérateurs", Genève, Suisse

Sommaire

1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIFS ET MANDAT	1
HISTORIQUE DE LA COLLABORATION CERN-CEA-CNRS	1
MANDAT - PROTOCOLE DE COLLABORATION	1
L'ACCORD TECHNIQUE D'EXECUTION NO.2	2
AVENANT NO.1 A L'ACCORD TECHNIQUE D'EXECUTION NO.2	3
3. ORGANISATION D'EXECUTION	3
MOYENS MIS EN ŒUVRE PAR LE CNRS	3
COMMUNICATION, ECHANGE, ARCHIVAGE ET GESTION DES DONNEES	4
METHODE DE TRAVAIL ET ORGANISATION DES ACTIVITES	5
GESTION DE LA COLLABORATION	5
4. RAPPORT TECHNIQUE	5
CONTENU DES TRAVAUX	6
TRAVAUX PREVUS	6
TRAVAUX CORRIGES	6
TRAVAUX REALISES	6
COMPARATIF PREVUS / CORRIGES / REALISES	7
PLANNING PREVU / REALISE	7
RESSOURCES PREVUES / REALISEES	7
BILAN QUANTITATIF	8
BUDGET DEPLACEMENTS	9
5. ANALYSE QUALITATIVE	9
CONNAISSANCES ET COMPETENCES	10
INTEGRATION ET DIFFERENCE CULTURELLE	10
RECURRENCE DES TACHES	10
CHANGEMENT DE PERSONNEL	10
COMMUNICATION	11
6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	11
7. REMERCIEMENTS	12

Liste des annexes

Annexe 1 :	Historique du projet SSS pour le LHC – Collaboration CERN – CEA – CNRS	13
Annexe 1 bis :	Historique du projet SSS pour le LHC – Collaboration CERN – CEA – CNRS	14
Annexe 2 :	Evolution du personnel CNRS impliqué dans la collaboration	15
Annexe 3 :	Procédure CERN – Conception/Achat/Commande	16
Annexe 4 :	Exemples de "Work Packages"	17
Annexe 5 :	Travaux Prévus / Corrigés / Réalisés	18
Annexe 6 :	Planning Prévu / Réalisé	19
Annexe 7 :	Bilan Ressources utilisées.....	20
Annexe 8 :	Documents CNRS produits durant la collaboration	21
Annexe 9 :	Bilan Plans et Maquettes CNRS	22
Annexe 10 :	Suivi industriel pour les Prototypes et pour la Série.....	23
Annexe 11 :	Revue	24
Annexe 12 :	Publications	25
Annexe 13 :	Budget Missions	26
Annexe 14 :	Quelques Photos pour 10 ans de Collaboration	27
Annexe 14 bis :	Quelques Photos pour 10 ans de Collaboration	28

1. Introduction

Ce rapport final rappelle les origines de la collaboration et de l'Accord Technique d'Exécution No.2 entre le CERN et le CNRS. Il permet de retracer l'historique de cet accord du mandat d'origine au résultat obtenu à la fin 2005, et de montrer son évolution et ses modifications durant les dix ans de collaboration.

Il donne les raisons qui ont amené à une modification majeure, approuvée par les partenaires, dans l'avenant no.1 en novembre 2000.

Il rappelle l'organisation mise en place par le CERN et le CNRS, les outils de gestion, de communication et d'exécution.

Il donne des résultats quantitatifs et qualitatifs, et en particulier les moyens en personnel mis en œuvre par le CNRS.

Finalement il contient une analyse qualitative et donne quelques recommandations, basées sur l'expérience de 10 ans de travail entre le CERN et le CNRS, pour de futures collaborations.

2. Objectifs et mandat

Historique de la collaboration CERN-CEA-CNRS

Protocole de Collaboration page 2 :

Cette collaboration s'inscrit dans le cadre général de la contribution exceptionnelle de la France à la construction du LHC telle que définie dans la lettre du 24 avril 1995 de Monsieur le Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche à Monsieur le Directeur Général du CERN. La contribution des deux organismes français y est évaluée à 160 MFF (valeur 1994) impliquant, entre autre, la mise en œuvre d'environ 200 hommes par an.

L'annexe 1 retrace les grandes dates de cette collaboration.

Mandat - Protocole de collaboration

Le protocole signé le 14 février 1996 par les trois instituts CERN, CEA et CNRS a pour objet de définir dans ses XI Articles et les quatre Accords Techniques d'Exécution, le cadre conventionnel au sein duquel la collaboration peut se développer.

Les domaines qui font l'objet de l'Accord Technique d'Exécution, la mission du CEA et du CNRS et les obligations des parties contractantes sont définis comme suit :

Protocole de Collaboration :

Article II § 3: Les parties conviennent d'établir une collaboration dans les quatre domaines suivants :

1. Masses froides des sections droites courtes,
2. Cryostats et assemblage des sections droites courtes,
3. Instrumentation cryogénique,
4. Réfrigération à 1,8 K.

Accord Technique d'Exécution N°2 :

§ 2: La mission du **CNRS** comprend l'étude de détail du cryostat, l'étude des procédures et outillages d'assemblage des SSS, la réalisation des deux prototypes, le lancement et le suivi des fabrications et assemblages de série. Cette activité comporte également l'industrialisation (appels d'offres et suivi de fabrication) et la mesure des moniteurs de faisceau avant leur montage dans les SSS.

Protocole de Collaboration :

Article III § 15 et § 16: Le CEA et le CNRS suivent les procédures du CERN pour l'achat du matériel et les contrats industriels. Pour cela et en particulier :

- ils exécutent les dessins en portant les indications en anglais (ou français et anglais),
- ils rédigent en anglais et en français les projets de spécifications, critères de qualification et autres documents techniques nécessaires aux études de marché et appels d'offres,
- ils participent avec le CERN à la sélection des firmes appelées à soumissionner, à l'évaluation des offres et rédigent les projets d'adjudications et des contrats,
- ils suivent techniquement les contrats ou commandes et déclenchent les procédures d'autorisation de paiement.

Le CERN

- définit les paramètres et dessins conceptuels,
- met en place et coordonne les réunions d'avancement du projet,
- approuve les dessins d'exécution et les documents d'appels d'offres (spécifications, critères de qualification, etc.),
- lance les études de marché et appels d'offres,
- passe les contrats et commandes,
- règle les factures des entreprises après approbation par le CEA ou le CNRS.

Les articles **IV** et **V** du protocole définissent les dispositions financières et l'organisation de la collaboration. L'article **VIII** définit l'entrée en vigueur et la durée du protocole de collaboration. Ce dernier commence le 14 février 1996 et sa fin est prévue à la fin 2004.

Néanmoins une prolongation est possible "d'un commun accord par avenant à l'issue de cette période".

L'annexe **1** du protocole donne l'estimation en personnel à mettre en œuvre par le CNRS pour l'Accord No.2. Cette estimation avance 61 hommes par an à la fin de la collaboration.

L'Accord Technique d'Exécution No.2

L'Accord Technique d'Exécution No.2, faisant partie intégrante du Protocole, présente en détail la description des SSS, du cryostat des SSS et de ses composants, du moniteur de faisceau (BPM) et de l'assemblage des SSS.

Il liste, dans l'article 7 de l'Accord Technique, les activités et missions du CNRS, et en particulier ses activités et responsabilités dans la :

- Phase d'études – définition des composants, méthodes d'assemblage et conception d'outillages.
- Phase prototypes – exécution de tous les tests et assemblages prévus du deuxième prototype à Orsay ou au CERN.
- Appels d'offres – dossiers techniques et spécifications.
- Transfert de technologie – exécution du transfert de technologie vers la firme contractante.
- Suivi de fabrication et tests de la présérie – surveillance de la qualification des méthodes et procédures, programme détaillé des tests et des mesures.

L'Accord Technique d'Exécution No.2 est complété par un planning détaillé et une estimation de la main-d'œuvre par activité et année.

Avenant No.1 à l'Accord Technique d'Exécution No.2

Après la phase d'étude, la réalisation des prototypes, le lancement des appels d'offres et la sélection d'une firme allemande pour la fabrication et l'assemblage des SSS en série par le Comité des Finances du CERN le 21 juin 2000, une révision de l'Accord Technique d'Exécution No.2 a été nécessaire.

Dans les quatre ans de collaboration CERN-CNRS passés, le projet LHC a beaucoup évolué techniquement (circuit électrique externe à la masse froide, transfert de responsabilité du support BPM sur la masse froide) et administrativement (système d'assurance qualité), et de nouveaux besoins sont apparus (pour les supresseurs de dispersion et sections d'insertion SSS-DS et SSS-MS).

De plus, le CNRS a eu des difficultés à trouver le personnel disponible qualifié pour le suivi de la fabrication de série dans la firme retenue (connaissance de la langue allemande requise, mobilité interne pour le suivi et les tests dans une firme non française, qualification nécessaire pour les techniques du vide).

D'un commun accord entre le CERN et le CNRS, le contenu de la collaboration a été modifié pour supprimer dans la liste des activités CNRS le projet moniteur de faisceau BPM (responsabilité CERN – Groupe AB-BO et AT-VAC), le suivi de fabrication et les tests de présérie. En compensation, les études ont été étendues aux SSS-DS, SSS spéciales et à l'outillage de mise en cryostat dipôle. La participation au suivi de fabrication des enceintes à vide dipôle a aussi été ajoutée.

Cet avenant No.1 a été signé par les Responsables CERN-CEA-CNRS le 24 novembre 2000.

Les corrections concernent particulièrement :

- Recentrage de la mission CNRS sur les études de détail, les procédures et outillage d'assemblage et la réalisation des trois prototypes. Les activités de suivi de fabrication et assemblage des SSS sont limitées à de l'assistance dans ces domaines.
- Suppression du paragraphe 5 : Moniteur de faisceau (BPM). Le CNRS n'a pas reçu la responsabilité de ce projet.
- Étendre les études aux SSS-DS et SSS d'insertion et à l'outillage de présérie de mise en cryostat des dipôles LHC.
- Contribuer au transfert de technologie vers la firme contractante, participer à l'assemblage d'un troisième prototype au CERN.
- Pour le suivi de fabrication et tests de série, l'activité CNRS consiste en une participation au suivi de la fabrication des composants, et aux transferts de technologie qui s'y rattachent.

3. Organisation d'exécution

Ce chapitre présente les moyens et les outils (informatique, communication, gestion,...) qui ont été mis en œuvre durant le déroulement de l'Accord Technique N°2, pour mener à bien cette collaboration entre le CERN et le CNRS.

Moyens mis en œuvre par le CNRS

Humains :

Protocole de Collaboration :

Article III § 13: Le CEA et le CNRS s'engagent à affecter le personnel qualifié, les locaux et autres infrastructures nécessaires pour l'exécution de leurs missions décrites dans les accords techniques d'exécution.

Le tableau en annexe 2 présente l'évolution du personnel CNRS impliqué au court du temps.

On peut résumer par les phases suivantes :

- Novembre 1995 à Septembre 1996 : recrutement, pour le bureau d'études, d'un ingénieur et de quatre projeteurs pour les besoins de l'accord technique d'exécution.
- Avril 1998 : recrutement d'un ingénieur pour le suivi des assemblages prototype et fabrications.
- Septembre 2000 : intégration d'un ingénieur en poste entièrement dédié au suivi de fabrication dans l'industrie.
- Octobre 2002 : recrutement d'un ingénieur pour palier à un départ.

Globalement, le CNRS a mis en place une politique de recrutement satisfaisante pour faire face à la charge de travail. Son personnel a bénéficié de formations techniques (EUCLID, cryogénie, vide, calcul de structures,...) et linguistiques pour maintenir à niveau ou adapter sa qualification.

Parallèlement, le CERN a aussi fait évoluer son personnel pour faire face aux réorganisations intervenues durant le projet et au changement du contrat SSS avec l'industrie suite à l'insolvabilité du contractant principal (départs de personnel AT-CRI, mise en place d'une équipe pour l'assemblage des SSS dans le bâtiment 904).

Financiers :

Protocole de Collaboration :

Article III § 14 : Le CEA et le CNRS prennent à leur charge le coût de leur personnel et les coûts associés (infrastructure, télécommunications, secrétariat, petits consommables, etc.) à l'exception des frais de déplacements visés au point 20.

Le CNRS a, au final, financé la préparation d'un hall de bâtiment en vue de l'éventuel assemblage de SSS, ainsi que le renouvellement ou l'achat d'équipements de bureau d'études tels que stations de travail, traceurs et logiciels. Ce financement a aussi permis de couvrir les frais liés à la collaboration : fourniture BE, une voiture au CERN, téléphone portable.

Communication, échange, archivage et gestion des données

Protocole de Collaboration :

Article III § 12 : Les trois parties s'engagent à établir un système de communication cohérent et efficace entre leurs laboratoires permettant l'échange d'informations, dessins de composants et données de mesure.

Accord Technique d'Exécution N°2 – 1996 :

§ 2: Les conditions générales d'exécution sont définies dans le protocole de collaboration. Les logiciels et procédures applicables au planning et aux dessins sont définis dans les "LHC Project Report 1 et 2".

Le CERN et le CNRS ont mis en œuvre des moyens de communication tels que le téléphone, le fax et le courrier électronique (apparition en 1996) pour les classiques, et la vidéoconférence, l'Engineering Data Management System (EDMS), le Cern Drawing Directory (CDD) et l'Electronic Data Handling (EDH) pour les plus sophistiqués. Parallèlement à ces moyens techniques, 4 réunions par mois en moyenne ont eu lieu au CERN ou au CNRS pour coordonner le travail.

Il est important de préciser que dans le cadre de son plan d'assurance qualité pour le projet LHC (mis en place pour le projet et les collaborations), le CERN a mis au point des moyens informatiques de communication, d'approbation et d'archivage de documents et de gestion des données très sophistiqués. Ces outils tels qu'EDMS, CDD, routines informatiques pour le transfert CAO et la transformation en format HPGL ont été parfaitement adaptés à une telle collaboration.

Dès 1996, le CNRS a mis en application les procédures qualités CERN, au travers des documents LHC-QAP-301 et LHC-QAP-302, définissant les standards d'objets CAO et dessins. L'application de ces procédures a impliqué l'utilisation et la maintenance du logiciel de CAO EUCLID, l'implémentation dans EUCLID d'applications CERN (nomination des objets CAO, application des standards de dessin), la mise en place d'outils pour le transfert informatique des fichiers CAO et l'accès à EDMS et CDD via l'Internet.

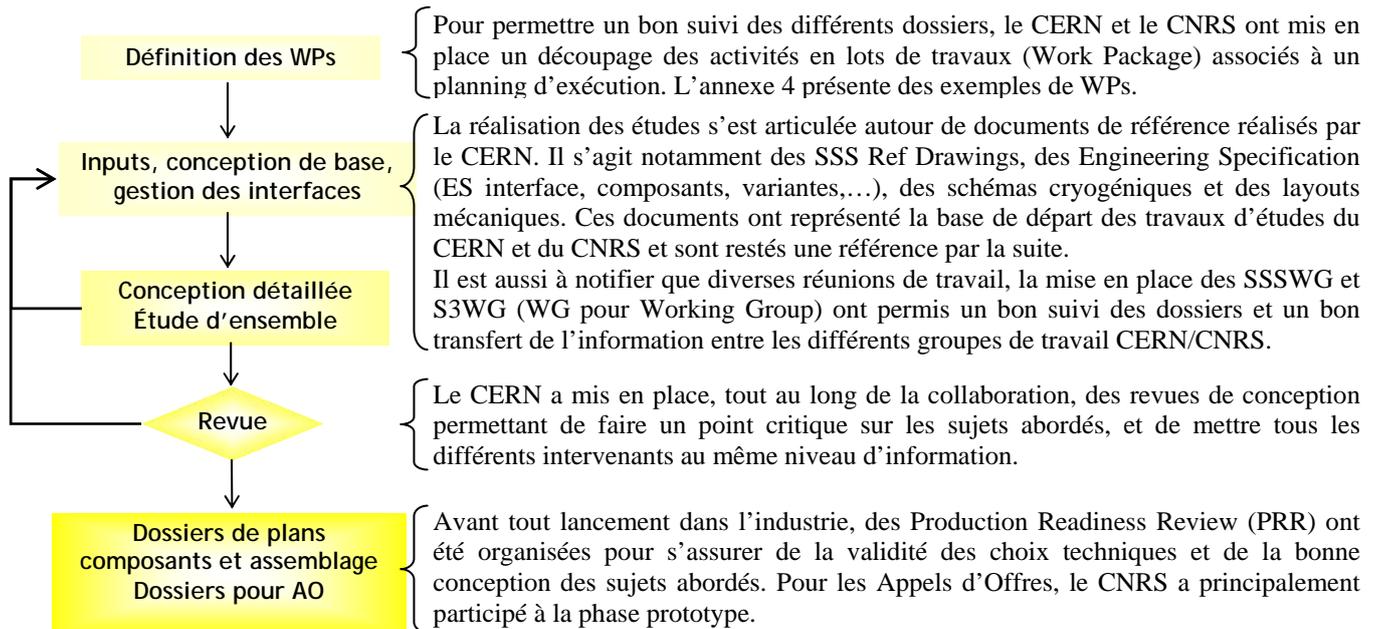
Méthode de travail et organisation des activités

Les chapitres 15 et 16 de l'article III du Protocole de collaboration (voir première partie du rapport "Mandat – Protocole de Collaboration") définissent les différentes obligations CERN/CEA/CNRS pour l'organisation des activités.

La mise en place, en 1996, des procédures d'assurance qualité CERN (Project report 1 et 2) et la parution du plan d'assurance qualité du LHC en 1998 ont permis d'organiser le travail entre les différents instituts.

D'un point de vue conception, le processus est défini selon la procédure LHC-PM-QA-307. Son principe est présenté en annexe 3.

L'organisation des travaux de conception peut-être résumée de la manière suivante :



Gestion de la collaboration

Protocole de Collaboration :

Article V § 21 : le CERN, le CEA et le CNRS désigneront chacun leur représentant pour la mise en œuvre générale de la collaboration qu'il prévoit, ainsi qu'un responsable pour l'Accord Technique d'Exécution.

Ces personnes formeront le CSP...

Article V § 22 et 23 : Le CSP est chargé de la mise en œuvre générale de la collaboration. Il veille à la cohérence des actions, élabore des propositions d'avenants, tient à jour l'engagement en personne.

Pour mener à bien cette collaboration, le CSP a été un outil très appréciable et très utile. Il s'est réuni, depuis le 14 Juin 1996, tous les six mois par rotation au CERN, au CNRS et au CEA. Il a impliqué les différents responsables d'instituts et ceux de chaque accord et a permis d'une part, de donner le même niveau d'information sur le projet et les accords à tous les intervenants, et d'autre part de régler ou de lancer des actions sur plusieurs problèmes ou désaccords rencontrés.

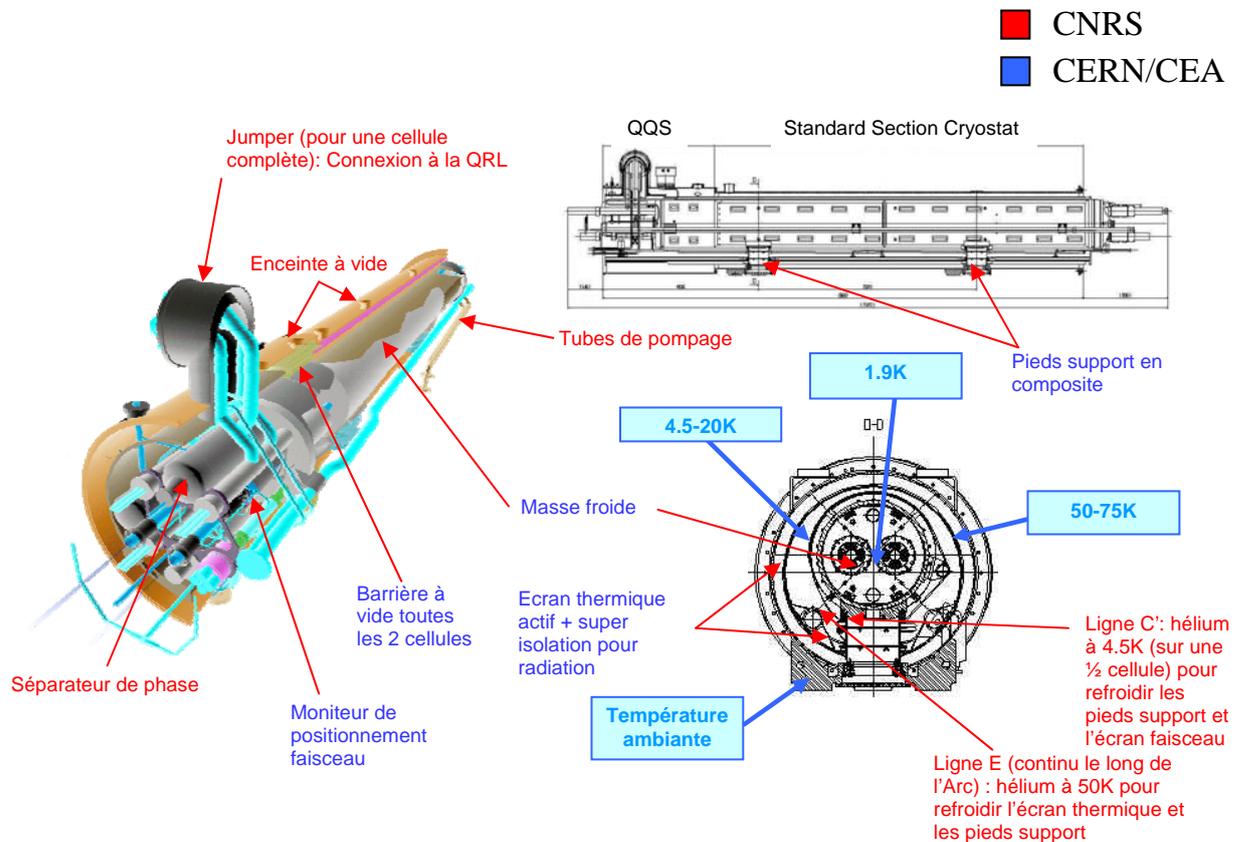
Globalement, le CSP a donné un avancement général du projet, un suivi des activités, des plannings et des ressources. À travers ses comptes-rendus, on peut dire qu'il représente la "Mémoire de la Collaboration".

4. Rapport technique

Ce chapitre présente, d'un point de vue quantitatif, toutes les données en termes de travaux, planning, ressources, documentations, revues, publications. Le but est de donner une vue d'ensemble sur le contenu d'une telle Collaboration.

Contenu des travaux

La mission du CNRS, dans le cadre du protocole de collaboration, portait sur le Cryostat des Sections Droites Courtes (SSS pour Short Straight Section). Les différentes images ci-dessous donnent une vue d'ensemble du Cryostat et de son environnement direct.



Les parties du Cryostat traitées par le CNRS ont été pour 360 unités Arc et 61 variantes, 64 unités DS et 30 variantes et 50 unités MS et 39 variantes :

- Enceinte à vide Section Standard,
- Enceinte QQS et connexion cryogénique (Jumper),
- Tuyauteries cryogéniques et séparateur de phase,
- Ecran thermique et super-isolation.

Travaux prévus

Le chapitre 2 de l'Accord Technique d'Exécution (voir première partie du rapport "Mandat – Protocole de Collaboration") définit la mission du CNRS et donc le travail prévu au début de la collaboration.

Travaux corrigés

Suite à différentes évolutions techniques et administratives du projet LHC, ainsi qu'un problème de disponibilité de personnel côté CNRS, le contenu de la collaboration a dû être revu pour supprimer la partie BPM (Beam Positioning Monitor) et recadrer l'activité suivie de fabrication vers une activité purement Bureau d'Etudes.

Le chapitre 2 du Protocole de Collaboration a ainsi été modifié en conséquence (voir chapitre 1 Avenant No.1).

Travaux réalisés

A la fin de la Collaboration, en 2005, le CNRS, en étroite collaboration avec le CERN, a donc réalisé les travaux suivants :

- étude de détail du cryostat pour les SSS Arc, DS et MS;
- étude des procédures d'assemblage et outillages série pour les SSS Arc, DS et MS;
- étude des outillages présérie de mise en cryostat pour les dipôles;
- étude des outillages d'assemblage proto;
- suivi pour la réalisation des composants proto et l'assemblage de 3 prototypes;
- suivi industriel des enceintes à vide dipôle et des bottom trays SSS.

Comparatif prévus / corrigés / réalisés

Le tableau en annexe 5 donne le détail comparatif entre prévus, corrigés et réalisés, des différents travaux attribués au CNRS dans le cadre du Protocole de Collaboration. On peut ainsi mesurer, sur une collaboration de 10 ans, l'écart entre ce qui a été initialement prévu, et ce qui a été réalisé au final. Il paraît donc pertinent de dire qu'estimer le contenu de tels travaux sur une si longue période, paraît être un exercice délicat, et que dans le cadre d'une telle Collaboration, il est sage de prévoir des réajustements tels que l'avenant signé en 2000.

Planning prévu / réalisé

Parallèlement au comparatif entre travaux prévus, corrigés et réalisés, il est intéressant de comparer, en termes de planning, ce qui avait été prévu à la signature du Protocole de Collaboration, et ce qui s'est réellement passé tout au long de la Collaboration.

L'annexe 6 donne toutes les informations relatives au planning et permettent de juger de son plus ou moins bon déroulement.

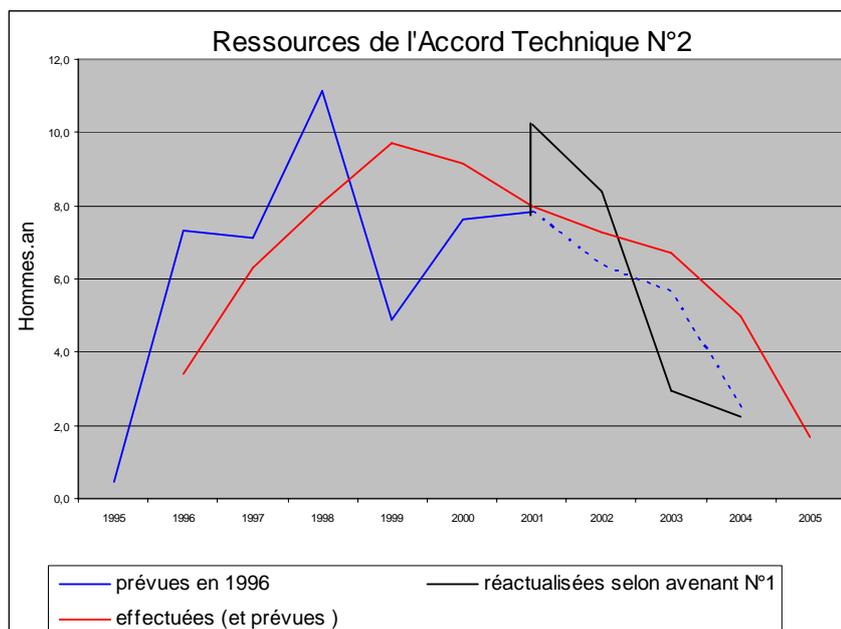
Une bonne partie des retards constatés sont attribués à des facteurs externes au contenu de la collaboration, tels que ceux relatifs aux évolutions naturelles du projet (ligne cryogénique QRL, évolution de la maille magnétique, etc.)

Ressources prévues / réalisées

Le graphique ci-dessous donne l'évolution des ressources humaines en hommes par an, tout au long de la Collaboration. Il est tiré du tableau en annexe 7.

Il est intéressant de constater que pour 61 hommes par an prévus à la signature du Protocole, 65 hommes par an ont finalement été consommés, ce qui comparativement à la durée de la Collaboration, n'est pas trop éloigné. On peut cependant noter qu'il y a eu au cours du temps, quelques adaptations du projet aux ressources CNRS disponibles.

On peut aussi remarquer que sur ce graphique, le décalage d'un an entre le pic des ressources prévues et celles réalisées est dû à un changement de planning du projet.



Le tableau en annexe 2 permet de juger de l'évolution du personnel CNRS impliqué dans la Collaboration. Les différents profils impliqués concernent le Responsable d'Institut, le Responsable de Collaboration, les ingénieurs, les projeteurs et une personne pour les aspects administratifs.

On peut constater à tous les niveaux de compétences, un roulement du personnel. Compte tenu de la durée de la collaboration, cela est sans doute normal, mais doit être prévu au tout début d'une Collaboration. Il en a d'ailleurs été de même pour le personnel CERN impliqué dans le projet.

L'année 2000 est donc celle où il y a eu le pic de ressources CNRS avec, pour le Bureau d'études, cinq ingénieurs et quatre projeteurs à temps plein, et deux ingénieurs et deux projeteurs à temps partiel. Cette période correspond à l'assemblage des prototypes, à la préparation de la SSS5 et à la rédaction des dossiers d'appel d'offre en série.

Bilan quantitatif

Activités du Bureau d'Etudes pour la collaboration :

Une telle collaboration nécessite un large éventail de compétences pour mener à bien tous les travaux cités dans les chapitres précédents. Le Bureau d'Etudes de l'IPN a donc mis en œuvre les compétences suivantes :

- **Conception Mécanique** : conception modulaire des SSS, intégration, définition d'interfaces, outillages de mise en cryostat et d'assemblage des SSS, réalisation de maquettes numériques, réalisation de calculs éléments finis et CODAP,
- **Gestion** : planning / ressources, suivi de protocole,
- **Documentation** : notes techniques, notes de calcul, spécifications, nomenclatures, procédures d'assemblage, plans composants et d'ensemble, publications,
- **Suivi assemblage de 3 prototypes**,
- **Suivi de contrats** : enceinte à vide dipôle (313 unités), bottom trays (846 unités), composants prototypes.

L'organisation du travail et des ressources autour de ces compétences a bien sûr nécessité une certaine souplesse du Bureau d'Etudes pour s'adapter aux besoins.

Documentation / Réalisation :

Le tableau en annexe 8 présente le panel de documents réalisés durant la collaboration.

Le tableau suivant donne le bilan final :

Type	Quantité	
Spécification	3	
Notice Outillage	7	
Calcul (CODAP, RDM, EF)*	17	*CODAP : Code de Construction des Appareils à Pression
Conception	3	RDM : Résistance des matériaux
Assemblage	1	EF : Eléments finis
Contrat	2	
<u>Divers</u>	3	
	36	

Le tableau en annexe 9 présente le bilan en termes de fichiers EUCLID réalisés. Au total, 1150 plans et 395 maquettes numériques sont enregistrés dans la base de données EUCLID du Bureau d'Etudes.

Suivi assemblage Prototypes :

Le Bureau d'Etudes de l'IPN a participé avec le CERN au suivi des assemblages de trois prototypes de SSS (SSS3, SSS4 et SSS5). Cette tâche a consisté à suivre l'installation des outillages et la réalisation des tests et contrôles intermédiaires, la rédaction de procédures d'assemblage, de tests et de contrôles et d'un rapport d'assemblage.

Suivi Industriel :

L'annexe 10 donne l'historique du suivi industriel réalisé pour la collaboration.

Une première phase, de 1997 à 2000, a consisté à suivre la fabrication de divers composants pour l'assemblage des prototypes.

Suite à l'avenant N°1, un ingénieur CNRS a été entièrement dédié au suivi de contrats. Cette deuxième phase de suivi, portant sur les composants de série, s'est étalée de 2000 à 2005.

Revues :

Dans le cadre du projet, toute une série de revues ont eu lieu durant la collaboration.

Ces revues ont permis d'assurer un bon suivi durant les différentes étapes du projet : conception, sous-traitance, lancement en fabrication, intégration. Elles ont aussi permis de faire des points techniques pour s'assurer du bon transfert d'informations entre chaque groupe de travail. L'annexe 11 présente l'historique de ces revues.

Publications :

Dans le cadre de différentes conférences internationales, le Bureau d'Etudes du CNRS et le groupe AT-CRI du CERN ont participé à la réalisation et à la présentation de papiers et de posters portant sur la conception des SSS :

- une publication pour PAC 1997
- une publication pour le CEC 1998,
- une publication pour EPAC 2000,
- une publication pour EPAC 2002,
- une publication pour PAC 2005.

L'annexe 12 donne les références des publications et présente quelques images des posters réalisés.

Budget déplacements

Compte tenu du caractère international de cette collaboration et des emplacements des laboratoires, un nombre important de déplacements ont eu lieu pour mener à bien les différents travaux gérés par le Bureau d'Etudes et la division AT-CRI du CERN.

Le bilan porte sur des missions imputables à des discussions sur la gestion de la collaboration et des sujets techniques:

- 268 missions CNRS vers CERN,
- 146 missions CERN vers CNRS,

Ainsi qu'à des missions pour le suivi de contrats et la fabrication des composants des cryostats SSS et dipôles :

- 63 missions CNRS vers Entreprises diverses (les missions du CERN vers l'industrie ne sont pas listées),
- 87 missions CNRS pour le suivi des enceintes à vide dipôle et des bottom trays.

L'annexe 13 présente l'évolution du budget pour ces missions.

5. Analyse Qualitative

Ce chapitre présente l'aspect qualitatif de cette collaboration. Il fait un bilan non exhaustif, en termes d'organisation, de rapport humain, de communication, des aspects positifs et négatifs qui sont apparus tout au long de ces dix années de travail en commun.

Il aurait par contre été intéressant de faire l'analyse comparative entre le budget et les ressources côté CNRS et ceux côté CERN, afin de placer l'Accord Technique d'Exécution N°2 dans le projet SSS global.

Connaissances et compétences

Le contenu de l'Accord Technique d'Exécution était basé sur le projet LHC tel que défini dans le "White Book" de 1995. Une période de R&D a eu lieu jusqu'à cette même année, en partenariat avec le CEA, choisi pour son expérience dans le programme HERA, pour le développement d'un quadropôle. Le CNRS n'a pas participé à ces développements.

Par contre, le CNRS a été impliqué, à partir de 1995, à la qualification des sections droites courtes du type Arc dans le programme du String 2. Ces essais grandeur nature sur une cellule entière ont permis l'acquisition des connaissances de base liées au projet LHC.

Les compétences techniques initiales du CNRS n'étaient pas au niveau du projet (e.g. cryogénie et expérience de la conception des cryostats) mais ce déficit de compétence s'est comblé au cours des premières années.

Pour le suivi industriel, n'étant pas la vocation première du CNRS, deux problèmes majeurs sont apparus au début de la collaboration. L'un concernait un déficit en anglais du personnel CNRS et l'autre un manque d'expérience et d'enthousiasme pour le suivi de contrat. Des formations linguistiques et la mise en place d'une personne entièrement dédiée à ce suivi ont permis de combler partiellement ces lacunes.

Intégration et différence culturelle

Au tout début de la collaboration, le CERN a été directif vis-à-vis du CNRS. Ce n'est que seulement après une phase d'"apprentissage", de familiarisation avec le projet LHC et d'une prise de connaissances des différents types de SSS, que le CNRS a acquis les connaissances et la maîtrise d'œuvre nécessaires pour travailler de manière plus autonome, notamment pour les MS.

L'intégration du personnel CNRS au sein de l'équipe CRI du CERN a été très rapide et bien vécu au niveau des ingénieurs. Lors des réunions intergroupes de projet, on peut dire que l'équipe CERN-CNRS ne formait qu'une seule entité, l'équipe CRI du CERN défendant toujours les positions du CNRS.

Par contre, elle n'a pas été ressentie de la même façon par les projeteurs qui n'ont pas été très impliqués dans les réunions techniques ayant lieu au CERN. Une interaction plus directe avec le CERN aurait été favorable à leur motivation.

D'un point de vue culturel, on peut dire que globalement le courant est bien passé entre les deux organismes. Il a été juste ressenti côté CNRS, une certaine méfiance du CERN au tout début de la collaboration.

Récurrance des tâches

L'aspect récurrance des tâches a été mal ressenti durant cette collaboration, notamment au niveau des projeteurs du bureau d'études. En effet, compte tenu des nombreux changements de conception (surtout en début de collaboration), du manque de données formelles et figées, de la non application des outils qualité mis en place par tous les intervenants et des nombreux changements de priorité par rapport au projet, il a fallu revenir plusieurs fois sur un certain nombre de sujets. On peut aussi noter un problème de différence d'avancement entre les différents groupes de travail (chacun ayant des priorités différentes), ce qui n'a pas aidé pour ces problèmes de récurrance.

Cependant, compte tenu de la complexité du projet et des différences culturelles entre les deux organismes, la flexibilité côté CERN et CNRS a été primordiale pour s'adapter et gérer ces difficultés tout au long du projet. Cet atout aurait-il été possible avec un bureau d'études industriel ?

Changement de personnel

Durant toute la durée de la collaboration, le CERN a vu passer quatre responsables de collaboration CNRS différents. Ces changements de personnel, qui paraissent inévitables sur une telle période, ont été mal vécus par le CERN, notamment pour la continuité du travail. D'une part, certains départs ont été annoncés tardivement côté CNRS ; d'autre part, les connaissances techniques et historiques de la conception ont été, à chaque fois, diluées à chaque départ.

Ces perturbations dans la collaboration n'ont cependant pas eu d'impact technique mesurable, chaque successeur ayant bien intégré son nouveau rôle.

Ce problème de roulement de personnel est d'ailleurs aussi apparu côté CERN avec le remplacement de plusieurs personnes.

Communication

Compte tenu du caractère "Travail à distance" de cette collaboration, les aspects communication ont été primordiaux pour le bon déroulement du travail.

Le CERN a mis en place des outils informatiques d'approbation des documents et la collaboration a été le "cobaye" pour la mise en application du transfert, d'un institut à l'autre, des dessins dans le Cern Drawing Directory (CDD). Un plan d'assurance qualité a été instauré, notamment pour la standardisation de la documentation et les procédures de gestion.

Tous ces outils ont été indispensables et très efficaces dans les collaborations, mais peu utilisés au début par d'autres groupes au CERN, ce qui fut un obstacle dans les premières années.

Les réunions entre les deux entités ont été la base indispensable pour permettre un bon échange et une bonne cohérence d'un point de vue connaissance et décisions techniques. Environ 400 ont eu lieu, soit au CERN, soit à l'IPN, ce qui reflète bien l'importance de se rencontrer physiquement et régulièrement. Elles ont aussi été primordiales pour la motivation et la valorisation des personnes engagées.

Le courrier électronique a aussi été très utile, mais insuffisant. En effet, rien ne peut remplacer les conversations téléphoniques (presque quotidiennes) pour obtenir des informations ou des réponses à des points bien particuliers. Un courriel n'est malheureusement pas toujours synonyme de réponse !

On peut enfin noter l'importance des outils informatiques mis en place par le CERN pour la diffusion et l'approbation des documents, ainsi que les séjours prolongés passés pour l'assemblage des prototypes et l'installation des outillages.

6. Conclusions et recommandations

Grâce à un suivi et à un réajustement permanent des ressources disponibles et des tâches à réaliser, la collaboration CERN-CNRS a rempli le mandat défini dans l'Accord Technique d'Exécution N°2 et corrigé dans l'Avenant n°1. La durée prévue initialement a été dépassée d'un an et les ressources impliquées ont été de 65 personnes . an au lieu des 61 prévus.

La durée de dix ans et l'unicité du projet LHC en termes de technologies de pointe ont représentées un "challenge" pour la gestion technique, la gestion des ressources et la cohabitation des équipes des deux instituts culturellement et géographiquement éloignés.

En termes de recommandations, les points suivants sont à prendre en compte pour la mise en place de nouvelles collaborations :

- La responsabilité du budget et la maîtrise technique finale étaient uniquement côté CERN, ce qui a eu un effet démotivant pour l'équipe CNRS. Il aurait été préférable pour ce dernier, d'être responsable techniquement et budgétairement, d'un objet à part entière. Dans ce cas, le CERN aurait pu se limiter au rôle de coordinateur technique local, comme pratiqué dans les expériences du CERN.
- Compte tenu de l'importance du projet, des nombreux groupes CERN intervenants (6 au total) et de la difficulté à figer les données et les paramètres côté CERN, l'avancement des travaux aurait dû se faire en parallèle entre les groupes et la collaboration. Cela n'a pas été le cas, ce qui a généré des problèmes de récurrences des tâches, présentés dans les chapitres précédents.
- Dans le cadre d'une telle collaboration, et lors de la rédaction du protocole d'accord et des différents accords techniques, il est important de bien définir le besoin par rapport aux ressources et compétences disponibles dans les instituts. En effet, le bureau d'études de l'IPN avait ses propres compétences et celles-ci n'étaient pas forcément bien adaptées à ce projet. On peut donner l'exemple du suivi industriel pour lequel aucune personne du bureau d'études n'était formée initialement. On peut aussi rappeler qu'il est difficile de trouver du personnel volontaire pour des déplacements à longue durée. Une présence constante, au début du projet, aurait d'ailleurs été souhaitable. Pour pallier à ces difficultés, il est donc important de prévoir la rédaction d'avenants au protocole pour permettre une réorientation de la collaboration.
- Sur une telle période, il faut bien sûr prévoir et éventuellement anticiper, les problèmes de roulement de personnel.

- Il est apparu essentiel de mettre en place un système de work packages pour le bon suivi et le bon déroulement des différents travaux à exécuter.
- La gestion des ressources humaines figées dès le départ, a été un problème sur la fin de la collaboration pour finaliser les différents travaux.
- Il est important, pour une meilleure motivation du personnel, d'impliquer tous les intervenants du projet, notamment les projeteurs.
- En ce qui concerne la réalisation des prototypes, les commentaires qui ont été faits durant le suivi n'ont pas été pris en compte pour la suite de la conception. Il paraît donc important que toutes les données soient bien intégrées dans le projet.
- En termes de suivi industriel, les inspecteurs CNRS auraient appréciés un meilleur soutien des spécialistes du CERN. Cet aspect est très important compte tenu du fait que ces inspecteurs travaillaient à l'étranger et donc loin de la maison mère.
- Les outils CAO doivent être homogénéisés pour une telle collaboration, sachant que sur une telle période, les logiciels deviennent obsolètes au bout d'un certain temps. Ceci pose un problème de parc informatique qu'il faut entièrement maintenir à niveau durant la collaboration.
- Les outils de communication et de gestion des données sont primordiaux pour ce type de collaboration à distance. Ils ne remplacent cependant pas les contacts humains et donc les déplacements.

7. Remerciements

Malgré toutes ces bonnes recommandations, il est cependant légitime de se demander si une telle collaboration aurait pu se passer autrement.

En point final : ce fut un succès !

Les acteurs principaux suivants, en méritent le crédit :

CNRS : G. Belot, J.B. Bergot, J.M. Buhour, E. Coussy, Ph. Dambre, J.M. Dufour, A. Fercoq, F. Lutton, G. Moret, Y. Ollivier, V. Poux, D. Reynet, S. Rousselot, E. Roy, H. Rozelot, L. Tonneli, D. Vincent.

CERN : D. Bodart, N. Bourcey, W. Cameron, P. Dos Santos de Campos, M. Gandel, V. Parma, A. Poncet, T. Renaglia, Chr. Reymermier, P. Rohmig, M. Struik, Ph. Trilhe, Chr. Vuitton, L.R. Williams.

Annexe 1 : Historique du projet SSS pour le LHC – Collaboration CERN – CEA – CNRS

1991 à 1994

- Phase de la conception du cryostat pour LHC dans un groupe de travail (LHC cryostat Working Group)

Juillet 1994

- Le prototype SSS (SSS1) terminé

Décembre 1994

- Installation du « String 1 » dans l'Hall SM18 terminé et opérationnel. Le String 1 consisté de 3 dipôles de 10m et d'une SSS, incluant la distribution des fluides cryogéniques. L'ensemble était monté sur des structures support pour accepter une "LEP like machine" en dessous.

Qualification de la demi-cellule du LHC !

1994

- Changement de l'architecture cryogénique du LHC, décision pour une ligne séparée (QRL) pour l'alimentation cryogénique des aimants LHC

Décembre 1994

- **Approbation du projet LHC par le Conseil du CERN**

4 mai 1995

- la réunion du groupe de travail SSS (SSSWG)

9 juin 1995

- Réunion CEA-CNRS/IN2P3 et CERN
Réunion de préparation pour définir:
 - a. Séparation logique des composants, assemblage
 - b. Distribution des activités entre les instituts françaises et le CERN
 - c. Planning provisoire et scénarios pour les prototypes

6 juillet 1995

- Réunion CNRS/IN2P3 et CERN
 - a. Présentation du Work-Package BPM par M.Bovet
 - b. Discussion WBS, PBS et Planning

11 et 22 septembre 1995

- Réunion CNRS/IN2P3 et CERN
Discussion sur la structure organisationnelle de la collaboration
Cryostats, Quadropoles, Utilisation

31 octobre 1995

- 1^{er} réunion CSA (CSP) ; comité pour suivre le progresse des 4 Accords Technique d'Exécution

10 décembre 1995

- Réunion CNRS/IN2P3 et CERN
- Préparer une avant étude sur le montage et l'alignement du BPM dans le cadre du protocole de collaboration. Ce projet permettant de tester les voies de communication entre le CERN et l'IN2P3.

Début de la Collaboration

12 - 14 février 1996

- Réunion CNRS/IN2P3 et CERN
Faire le point sur le projet pilote (support BPM) et les "Work-Packages"

14 février 1996

- Protocole de la collaboration CEA-CNRS-CERN signé.
- Accord Technique d'Exécution No. 2 : Cryostats et assemblage des SSS
61 hommes-an, duré jusqu'à fin 2004
Contenu: Défini dans l'Article III du protocole et dans l'Accord Technique d'Exécution pour les détails

24 - 27 juin 1996

- Semaine de travail pour faire le point sur l'avancement et discuter de point technique, organisationnel et d'avancement.

3 décembre 1996

- Donner suite à l'analyse du 27 Novembre 1996 et aux décisions prises pour augmenter l'efficacité de la collaboration

25 février 1997

- SSSWG no.33: Début de la présence CNRS dans les réunions du projet SSS.

13 - 14 novembre 1997

- Revue de conception du cryostat SSS

Mars 1998

- Revue de conception du SSS-QQS

4 - 5 février 1999

- Revue du Cryostat Arc

28 septembre 1999

- Cryostat Prototype SSS3 ; assemblage fini

Annexe 1 bis : Historique du projet SSS pour le LHC – Collaboration CERN – CEA – CNRS

31 janvier 2000

- Appels d'offre IT-2593/LHC/LHC envoyé

28 - 29 février 2000

- Conférence avec firmes sélectionnées (Bidders conference)

3 avril 2000

- Date de clôtures pour la soumission des offres

Avril 2000

- Cryostat Prototype SSS4 assemblage fini

Mai 2000

- Revue de la disposition pour la production (Production Readiness Review)

21 juin 2000

- Adjudication du contrat par le Comité des Finances à la firme BDT / Allemagne

18 septembre 2000

- Réunion exceptionnelle CERN-CNRS
Confirmation des ressources CNRS pour répondre aux activités des SSS-Matching Sections (MS), pris en charge par AT-CRI.

26 septembre 2000

- Contrat signé avec BDT

Novembre 2000

- SSS4 installé dans le String 2

24 novembre 2000

- "Avenant No. 1 de l'Accord Technique d'Exécution No. 2 signé
Contenu : modification *des activités et responsabilités du CNRS*

6 - 7 décembre 2000

- Réunion de lancement "Kick-off" avec BDT

Avril - mai 2001

- Démonstration d'assemblage SSS (SSS5) par CERN – CNRS pour BDT au CERN

Septembre 2001

- String 2 phase 1 opérationnelle
Le String 2 consisté d'une demi-cellule de 3 dipôles de 15m, 2 SSS et d'une DFBS
Qualification de la demi-cellule du LHC avec ligne cryogénique séparée !

Février 2002

- Simulation du transport d'une SSS (5) entre le CERN et BDT/Neubeckum

26 - 27 juin 2002

- Revue de conception des SSS Q7 –Q4

Juillet 2002

- Insolvabilité de la firme BDS (ex. BDT)

Juillet 2002

- String 2 phase 2 opérationnelle
Deux demi-cellules complètes

Septembre 2002

- Contrat F363/LHC/LHC annulé

Décembre 2002

- Décision du Comité de Finance pour la fabrication in-house des SSS suit à l'insolvabilité de BDS (ex. BDT) en juillet 2002

Mars 2003

- Avenant au contrat F422 pour l'assemblage des SSS
• Contrats pour la fabrication des composants cryostat SSS signés

août 2003

- Assemblage des cryostats SSS dans le bâtiment 181

19 septembre 2003

- Lettre du CERN à CNRS-IN2P3 sur le problème créé par le changement de responsabilité du chef de l'équipe, J-B. Bergot > E. Roy > F. Lutton.

14 octobre 2003

- Réunion exceptionnelle CERN – CNRS
• Discussion des conséquences en termes d'avancement du travail, dû au changement dans l'équipe IN2P3.

Novembre 2003

- Bâtiment 904 terminé pour l'assemblage des cryostats des SSS

2-3 décembre 2003

- Revue de production des masses froides MQ

30 juin 2004

- Revue des composants cryostats des SSS-MS

Annexe 2 : Evolution du personnel CNRS impliqué dans la collaboration

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
F. Dupont	F. Dupont	F. Dupont	F. Dupont	F. Dupont	M. Lieuvin	M. Lieuvin	M. Lieuvin	M. Lieuvin	P. Lavocat	P. Lavocat
D. Vincent	D. Vincent	D. Vincent	D. Vincent	D. Vincent	D. Vincent	JB. Beront	JB. Beront	E. Roy	F. Luffon	F. Luffon
P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre	P. Dambre
JB. Beront	JB. Beront	JB. Beront	JB. Beront	JB. Beront	JB. Beront	E. Roy	E. Roy	F. Luffon	G. Belot	G. Belot
	D. Reynet	D. Reynet	E. Roy	E. Roy	E. Roy	G. Belot	F. Luffon	G. Belot	D. Reynet	S. Rousselot
	L. Tonneli	L. Tonneli	D. Reynet	D. Reynet	G. Belot	D. Reynet	G. Belot	D. Reynet	S. Rousselot	V. Poux
	E. Coussy	E. Coussy	G. Moret	G. Moret	D. Reynet	S. Rousselot	D. Reynet	S. Rousselot	Y. Ollivier	
	Y. Ollivier	Y. Ollivier	E. Coussy	S. Rousselot	G. Moret	Y. Ollivier	S. Rousselot	Y. Ollivier	V. Poux	
	A. Fercog	A. Fercog	Y. Ollivier	Y. Ollivier	S. Rousselot	V. Poux	Y. Ollivier	V. Poux	JM. Buhour	
		H. Rozelot	A. Fercog	V. Poux	Y. Ollivier	JM. Buhour	V. Poux	JM. Buhour		
			H. Rozelot	H. Rozelot	V. Poux	JM. Dufour	JM. Buhour			
				JM. Buhour	H. Rozelot		JM. Dufour			
					JM. Buhour					
					JM. Dufour					



Gestion : Responsable d'Institut /
Responsable d'Accord



Technique : Ingénieur

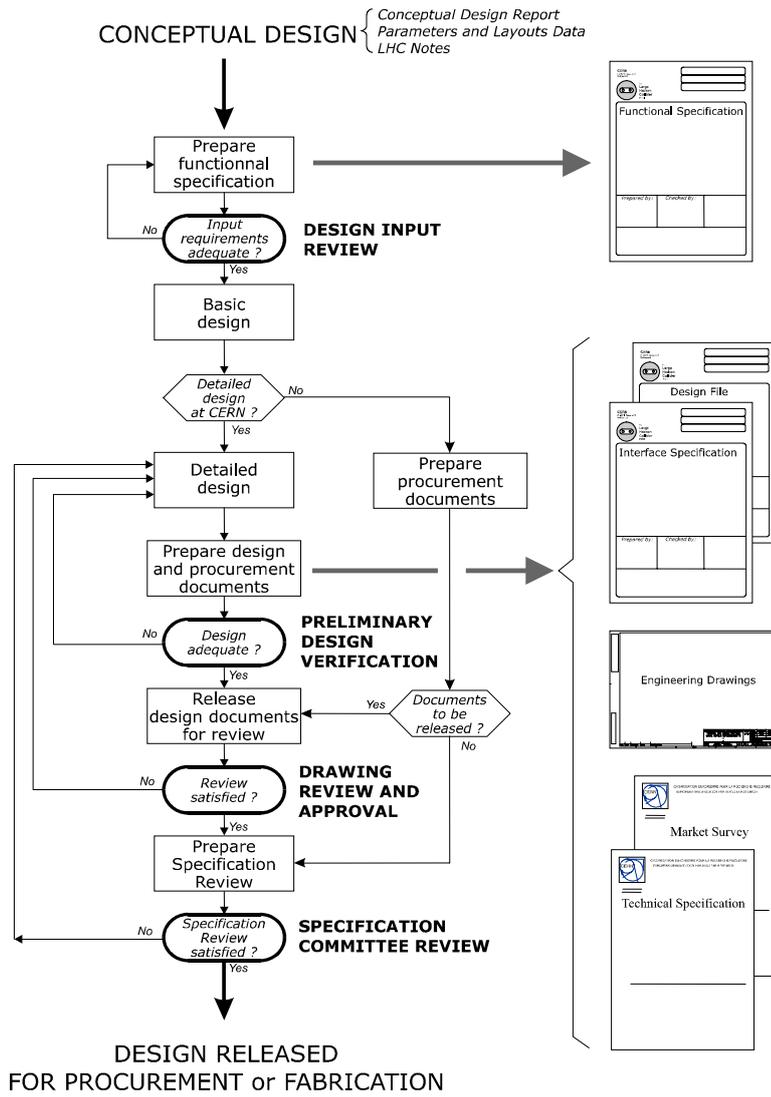


Technique : Projeteur



Participation ponctuelle

Annexe 3 : Procédure CERN – Conception/Achat/Commande



Annexe 4 : Exemples de "Work Packages"

		Work Package : SSS ARC ASSEMBLY DRAWINGS		CNRS interlocutors: F.Lutton, D.Reynet CERN interlocutors: M.Gandel	Date: 26/01/2005	Revision: F
Equipment Code	Drawings	Description	1st CM Delivery (26/02/04)	Delivery for control	CNRS Control	CERN Control (+4 days max)
QQAGS	7	Arc type S QQS type Z SSS Equipment Code: LQATI, LQATS, LQATT, LQOAB, LQOAG, LQOAH, LQOAM, LQOAN, LQOBB, LQOBL, LQOBL	12/02/2003	10/05/2003	13/05/2003	13/05/2003
QQACS, QQAAS	11	Arc type V QQS type B SSS Equipment Code: LQASA, LQASB, LQASC, LQASD, LQASE, LQASF, LQASG, LQATD, LQATE, LQATF, LQATN, LQATO, LQATP, LQATQ, LQOAC, LQOAD, LQOAS, LQOAT, LQOAU	15/11/2003	16/06/2003	28/07/2003	19/08/2003
QQAES, QQAFS	8 (+2)	Arc type S QQS type A SSS Equipment Code: LQATA, LQATB, LQATC, LQATJ, LQATK, LQATL, LQATH, LQOAA, LQOAB, LQOAI, LQOAJ, LQOAO, LQOAP, LQOQA, LQOAR, LQOBC, LQOBD, LQOBE, LQOBF	15/07/2003	17/07/2003	28/07/2003	19/08/2003
QQABS, QQADS	4 (+7)	Arc type V QQS type D SSS Equipment Code: LQOAK, LQOAL, LQOQB, LQOQBH, LQOBI, LQOBJ	08/10/2003	16/09/2003	19/09/2003	24/09/2003
QQAKS	5 (+4)	Arc type S QQS type F SSS Equipment Code: LQOBN	06/01/2004	05/11/2003	06/11/2003	07/11/2003
QQAHS	5 (+4)	Arc type S QQS type E SSS Equipment Code: LQOBM	TBD	18/10/2004	22/10/2004	05/12/2004
QQAJS	2 (+8)	Arc type S QQS type A* (1040) SSS Equipment Code: LQATU, LQATV	TBD	22/10/2004	22/10/2004	05/12/2004
Drawings Modifications	35	IFS design modification, ligne C' modification, general modifications (IFS assembly order modification TBC)		24/12/2004	26/01/2005	

Issued by F.LUTTON

		Work Package : SSS DS AND MS STUDY		CNRS interlocutors: F.Lutton, S.Rousselot CERN interlocutors: M.Gandel	Date: 08/07/2005	Revision: J	Comments		
SSS	Area	Titre	Description	Delivery for control	Evolution	CNRS Control		CERN Control (+4 days max)	
DS	Q8/Q9/Q10 @ IR4	Special BPM	Integration of BPMC in the QQS. This BPMC has two additional cables outputs. Impacts on the QQS upper thermal shield, MLI and the vacuum	31/03/2004		13/04/2004 23/06/2004	24/06/2004	Plans pour le type Z DS réalisés au mois de Juin	
	Q8/Q9/Q10	120A DCF	Integration of the 120A DCF. Impact on the cryogenic tubing DN15 (type Z and A), and on the bottom trays.	14/11/2003		21/11/2003	25/11/2003		
	Q8/Q9/Q10 with MQM	IFS for MQM	Connection tube without flexible.		CERN study				
	Q9 @ IR6L	Special cryo	Special cryogenic layout with a special KD2 tube. Impact on the cryogenic tubing.	27/02/2004		26/02/2004	13/05/2004		Proposal done : 03/02/04
	Q9 @ IR6R	Special cryo	Special cryogenic layout with a line parallel to C' line. Impact on the bottom tray and on the cryogenic tubing.	27/02/2004		26/02/2004	13/05/2004		Proposal done : 03/02/04
	Q10 @ IR6L	Special cryo	Special cryogenic layout with a line parallel to C' line and a CC' tube without T. Impact on the bottom tray and on the cryogenic tubing.	27/02/2004		26/02/2004	13/05/2004		Proposal done : 03/02/04
	Q10 @ IR6R	Special cryo	Special cryogenic layout with a special KD1 tube and a CC' tube without T. Impact on the cryogenic tubing.	27/02/2004		26/02/2004	13/05/2004		Proposal done : 03/02/04
MS	Q6 @ IR2L Q6 @ IR8R Q7 @ IR2L Q7 @ IR8R	High jumpers	High jumpers not transportable in the tunnel. QQS delivered without jumper and tests done without jumper.	30/01/2004		09/02/2004	31/03/2004	Proposal1 : 05/01/04 Proposal2 : 30/01/04	
	Q7 @ IR4	Special BPM	Integration of BPMC in the QQS. This BPMC has two additional cables outputs. Impact on the QQS upper thermal shield, MLI and the vacuum vessel.	31/03/2004		13/04/2004	06/07/2004	Study common with DS	
	MS with BPMY	Interférence cooling tubes	Interférence entre cooling tubes des BPMY et la jauge de niveau.	16/07/2004		30/07/2004	15/09/2004		
	Stand-alone et Semi-stand-alone	Flambage Ligne EE-FF	Etudes sur la mise en place de supports intermédiaires le long de la ligne FF de retour EE, pour éviter tout flambage dans E' du bottom tray.	01/10/2004		30/09/2004	08/10/2004		
	Q4, Q5, Q6, Q7	Tubes cryo	Etudes sur la mise en place d'un spacer supplémentaire dans la partie horizontale de la jumper (plan 415) pour éviter les contacts entre tubes	04/10/2004		05/10/2004	05/10/2004		
	Q4, Q5, Q6, Q7	Clip	Etudes sur une pièce clipsable sur les cryo tubing QQS et jumper, pour palier à tous problèmes de contacts.	17/12/2004		12/05/2005	12/05/2005	Design et plans réalisés; test froid CERN non fait	

Issued by F.LUTTON

Annexe 5 : Travaux Prévus / Corrigés / Réalisés

Détails des Travaux		
Protocole (1996)	Avenant (2000)	Réalisé
<p>§7.1_Phase étude: Après la conception de base, qui sera élaborée par le CERN, le CNRS, en collaboration avec le CERN, définira les composants du cryostat dont elle devra assurer l’approvisionnement et la méthode d’assemblage des SSS, ainsi que la conception de l’outillage.</p>	<p>Idem + Les études prises en charge par le CNRS sont étendues à:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l’étude des cryostats des sections droites courtes des supresseurs de dispersion (SSS-DS) et des insertions, ainsi que leurs outillages de mise en cryostat; - l’étude des outillages de présérie de mise en cryostat des dipôles LHC. 	<p>Le CNRS a fait:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l’étude de détail pour les prototypes; - la réalisation des plans d’ensemble proto; - l’étude de détail pour le cryostat des Arc, DS et MS; - la réalisation des plans d’ensemble SSS Arc, DS et MS; - l’étude des outillages pour l’assemblage des protos; - l’étude des outillages de présérie pour la mise en cryostat des dipôles; - l’étude des outillages d’assemblage Arc, DS et MS.
<p>§7.2_Phase proto: La première SSS sera assemblé au CERN, sous sa responsabilité et en présence du CNRS. La deuxième SSS sera assemblée par le CNRS à Orsay.</p>		<p>Le CNRS a fait:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le suivi de fabrication de certains composants proto; - le suivi de l’assemblage au CERN de 3 protos.
<p>§7.3_Appels d’offre: Le CNRS établira les dossiers techniques et spécifications nécessaires pour les études de marché et appels d’offre et participera avec le CERN au processus d’adjudication et d’élaboration des contrats.</p>		<p>Le CNRS a fait:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l’établissement du dossier technique. <p>Le CNRS a participé:</p> <ul style="list-style-type: none"> - à la rédaction, en commun avec le CERN, des spécifications, et à la qualification des firmes.
<p>§7.4_Transfert de technologie: Pour l’assemblage des SSS, le CNRS se chargera du transfert de technologie vers la firme contractante.</p>	<p>Remplacé par:... Pour l’assemblage des SSS, le CNRS contribuera au transfert de technologie vers la firme contractante.</p>	<p>Le CNRS, avant la rupture de contrat de la société BDT, a réalisé le transfert de technologie pour la SSS5, et participé à la Bidders Conference.</p>
<p>§7.5_Suivi de fabrication et tests de la présérie: Le CNRS assurera le suivi de la présérie. Ce suivi devra inclure la surveillance de la qualification des méthodes et procédures (soudures, etc.), et de toutes les mesures des dimensions.</p>	<p>Supprimé</p>	
<p>§7.6_Suivi de fabrication et tests de série: Le suivi de la série sera assuré par le CNRS</p>	<p>Remplacé par:... Les activités au suivi de fabrication incombant au CNRS sont désormais les suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Participation au suivi de fabrication de composants SSS; - Suivi de fabrication des outillages de mise en cryostat des SSS-DS et des régions d’insertion; - Participation au suivi de fabrication des outillages de mise en cryostat des dipôles; - Participation au suivi de fabrication des enceintes à vide des cryostats de dipôles. 	<p>Le CNRS a fait:</p> <ul style="list-style-type: none"> - le suivi de fabrication des enceintes à vide dipôle; - le suivi de fabrication des bottom trays SSS Arc, DS et MS. <p>Le CNRS a participé:</p> <ul style="list-style-type: none"> - au suivi de fabrication des outillages de mise en cryostat des SSS-DS et régions d’insertion; - au suivi de fabrication des outillages de mise en cryostat dipôles ; - au suivi industriel de Germania et EWK jusqu’à l’insolvabilité de BDT.

Annexe 6 : Planning Prévu / Réalisé

Planning	Prévu (Protocole + Avenant)	Réalisé
Collaboration Totale	Fin 2004	Fin 2005
Revue de conception Cryostat SSS	Décembre 1996	Novembre 1997
Prototype SSS3 assemblé Suivi de fabrication composants SSS3 Assemblage SSS3	Janvier 1998 Mars 1998	Septembre 1999 Janvier 2000
Appel d'offre IT-2593	Mai 1998	Janvier 2000
Prototype SSS4 assemblé Suivi de fabrication composants SSS4 Assemblage SSS4	Mars 1998 Juillet 1998	Septembre 1999 Avril 2000
Signature du contrat avec BDT	Février 1999	Septembre 2000
Signature de l'avenant N°1		
Prototype SSS5 assemblé Suivi de fabrication composants SSS5 Assemblage SSS5	2ème trimestre 2001 2ème trimestre 2001	Décembre 2000 Mai 2001
Dossier SSS DS Dossier Technique SSS DS Dossier assemblage SSS DS	Mi-2001 Octobre 2002	Février 2004 Avril 2005
Dossier SSS MS Dossier Technique SSS MS Participation au suivi de fabrication Dossier d'assemblage SSS MS	Fin 2001 2002-2003 Mi-2002	Mai 2005 Non réalisé Juillet 2005
Dossier SSS Arc Dossier Technique SSS Arc Dossier assemblage SSS Arc Transfert de Technologie Participation au suivi de fabrication	Fin 2004 Non prévu 4ème trimestre 2001 2001 à fin 2004	Fin Juin 2003 Janvier 2005 Mi-2002 jusqu'à rupture contrat BDT (Sept 2002) Mi-2002 jusqu'à rupture contrat BDT (Sept 2002)
Dossier Outillage mise en cryostat Arc, DS, MS Etude et dossier technique Participation au suivi de fabrication	Fin 2001 Fin 2002	Mi-2002 Fin 2002
Dossier Outillage Assemblage Arc, DS, MS	Non prévu	Octobre 2004
Suivi industriel Particip. au suivi de l'outillage de cryost. Présérie Particip. Au suivi de fab. enc. à vide Dipôle Particip. Au suivi de fab. Bottom Tray SSS	Mi-2001 Fin 2004 Non prévu	Avril 1999 Juillet 2005 Décembre 2005

Annexe 7 : Bilan Ressources utilisées

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
	h.a											
<i>prévues en 1996</i>	0,5	7,3	7,1	11,1	4,9	7,6	7,8	6,4	5,6	2,5	0,0	60,9
prévues cumulées en 1996	0,5	7,8	15,0	26,1	31,0	38,6	46,4	52,8	58,4	60,9		
réactualisées selon avenant N°1							10,2	8,4	3,0	2,2	0,0	60,5
réactualisées cumulées selon avenant N°1							46,9	55,3	58,2	60,5		
<i>effectuées (et prévues)</i>		3,4	6,3	8,1	9,7	9,1	8,0	7,3	6,7	5,0	1,7	65,3
effectuées cumulées (et prévues)		3,4	9,7	17,8	27,5	36,7	44,6	51,9	58,6	63,6	65,3	65,3

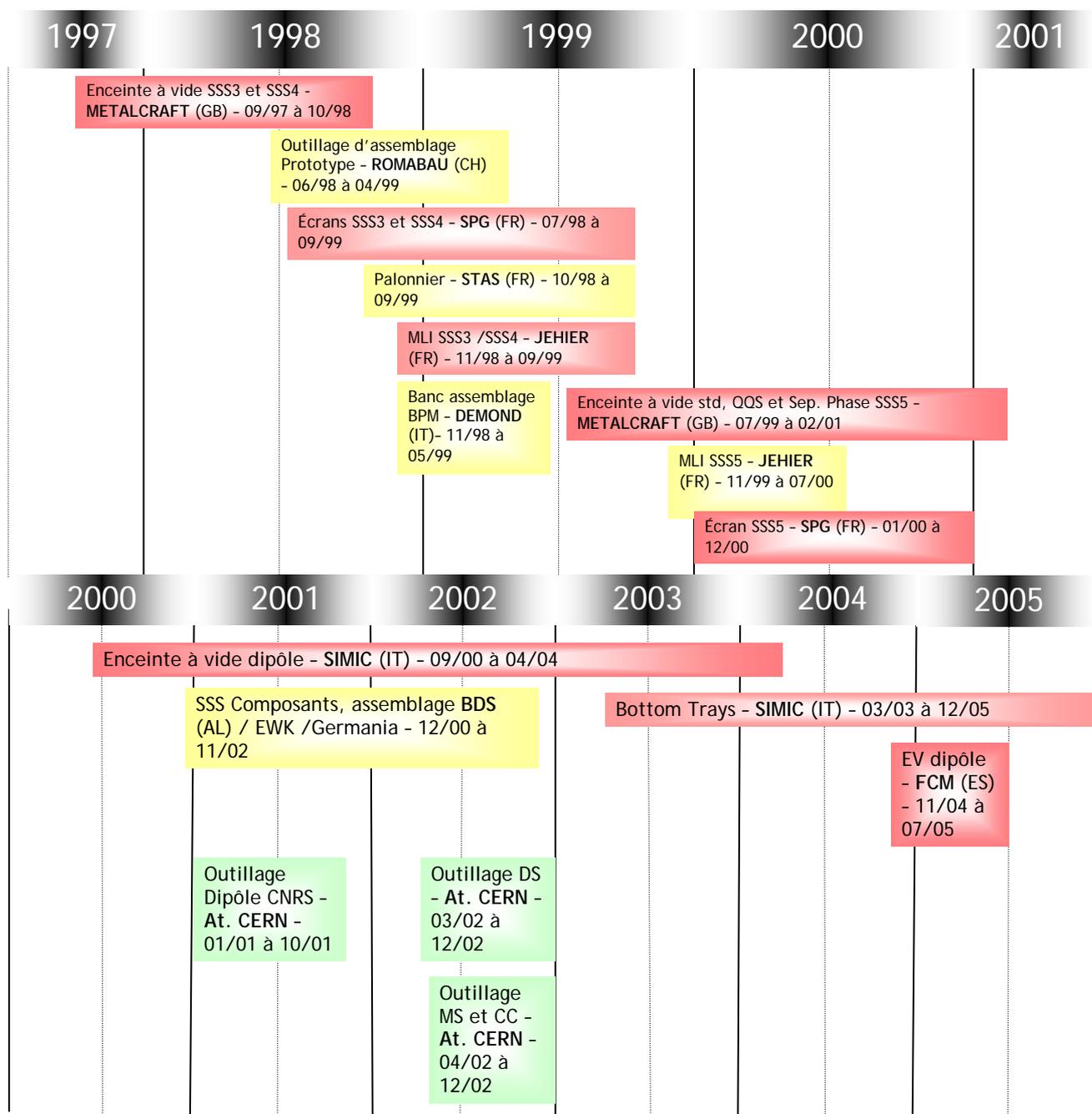
Annexe 8 : Documents CNRS produits durant la collaboration

Titre	Type	Auteur	Nom ou N°EDMS	Année
Supply of prototype vacuum vessel for the SSS of the LHC	Spécification	Dambre / Vincent	LHC-QQA-CI-0002	1997
Conductance des tubes de pompage du vide faisceau	Divers	Bergot	NT98-03.doc	1998
Note de calcul enceinte à vide SSS	CODAP / EF	Dambre / Reynet	NT98-04.doc	1998
Déroulé opératoire assemblage SSS	Assemblage	Dambre / Reynet	NT98-05.doc	1998
Tolérance de positionnement des écrans	Conception	Bergot	NT98-06.doc	1998
Note de calcul de l'outillage pour l'assemblage des SSS	EF	Dambre / Reynet / Roy	NT98-07.doc	1998
Etude faisabilité préhension des masses froides DS en vue du cryostating	RDM / EF	Roy	NT99-01.doc	1999
Validation des enceintes à vide SSS-DS	EF	Roy	NT99-02.doc	1999
Enceinte à vide SSS, prise en compte modifications des mires d'alignement	EF	Buhour	NT99-03.doc	1999
Qualification Criteria Supply of the LHC Arc SSS Cryostat and their assembly	Contrat	Dambre / Rohmig	103264	1999
Technical Questionnaire Supply of the LHC Arc SSS Cryostat and assembly	Contrat	Dambre / Rohmig	103263	1999
Qualification système de thermalisation des tubes de pompage du vide faisceau	Divers	Bergot	NT00-01	2000
Vérification jeux fonctionnels pour SSS	Conception	Roy	NT00-02	2000
Vérification comportement thermique et tenue mécanique du support écran	RDM	Roy / Rousselot	NT00-03	2000
Calcul de validation de la table élévatrice du cryodipole LHC	EF / RDM	Buhour / Dambre / Reynet	NT00-04.doc	2000
Calcul de validation de la table d'alignement du cryodipole	EF / RDM	Buhour / Dambre / Reynet	NT00-05.doc	2000
Calcul de validation du train de luges de cryostating	EF / RDM	Buhour / Dambre / Reynet	NT00-06.doc	2000
Test de frottement CESTITECH 7000	Divers	Dambre	NT00-07.doc	2000
Calcul du berceau du chariot arrière de l'outillage SSS-DS	EF	Bergot / Buhour / Dambre / Ollivier	NT01-02.doc	2001
Calcul du châssis inférieur du chariot arrière de l'outillage DS	EF	Bergot / Buhour / Dambre / Ollivier	NT01-03.doc	2001
Validation de la table des enceintes à vide des outillages DS	EF	Buhour / Dambre	NT01-04.doc	2001
Validation des enceintes à vide DS pendant le cryostating	EF	Reynet / Roy	NT01-05.doc	2001
Validation de la virole de lavage pour dipôle type MS	EF / RDM	Buhour / Dambre	NT02-03.doc	2002
Validation table pour le cryost des MS	EF	Buhour / Dambre	NT02-04.doc	2002
Contrôle tenue mécanique des tubes cryo pour les MS	CODAP / RDM	Lutton	NT03-01.doc	2003
Short Straight Section Types in the MS	Spécification	Lutton	LHC-LQN-ES-0002	2003
Tenue mécanique de la ligne FF au flambage sous 25 bars	RDM	Lutton	NT04-01.doc	2004
ABS for Matching Section Cryostats	Spécification	Lutton	LHC-LQS-ES-0001	2004
Enceinte MS – Justif de non calcul	Conception	Lutton	NT04-02.doc	2004
	Notice Outillage	Dambre		
	Notice Outillage	Dambre		
	Notice Outillage	Dambre		
	Notice Outillage	Dambre		
	Notice Outillage	Dambre		
	Notice Outillage	Dambre		
	Notice Outillage	Dambre		

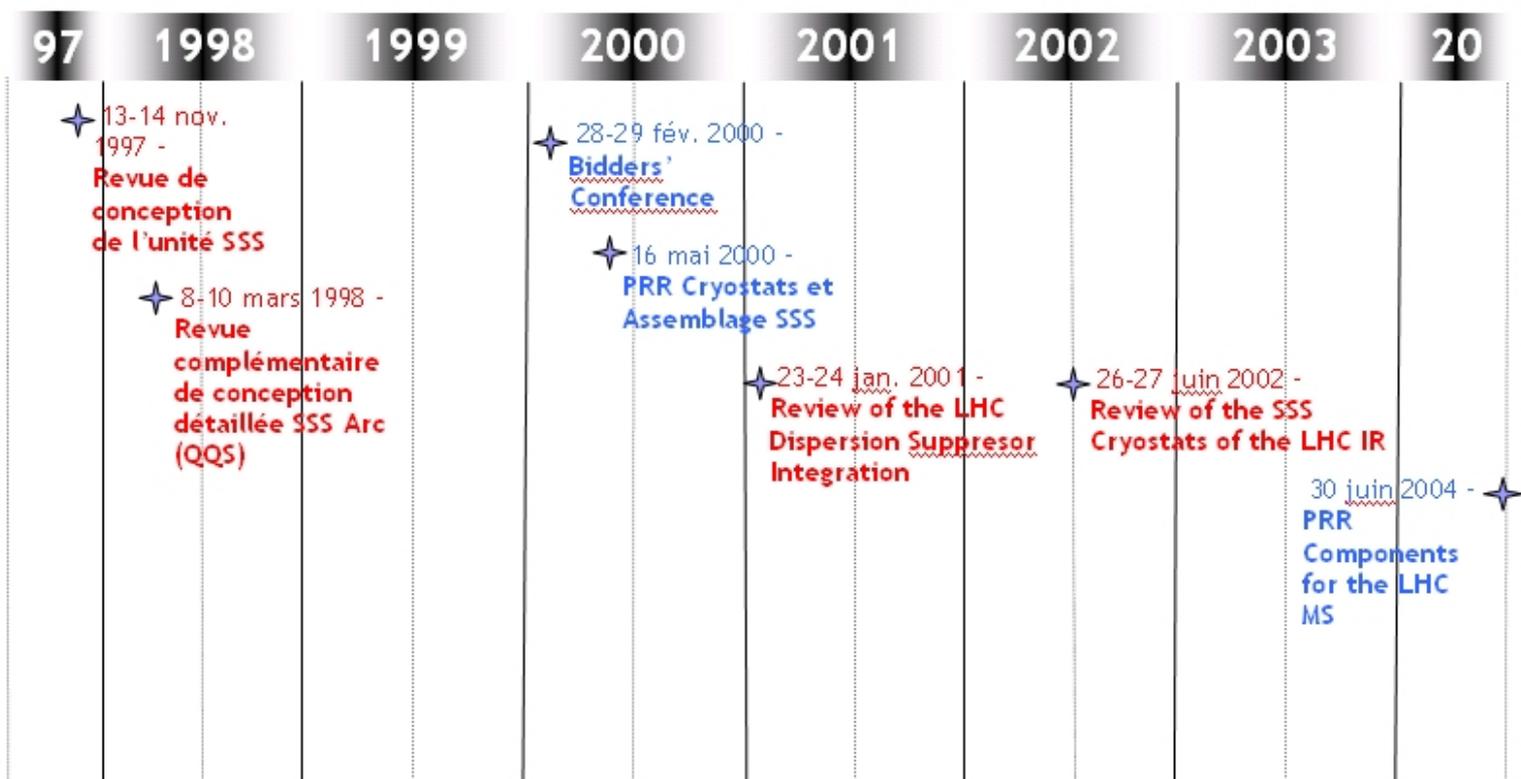
Annexe 9 : Bilan Plans et Maquettes CNRS

Type de Plan		Code	Quantité	Maquettes EUCLID
Plans de Spécification Suivi de fabrication	Section Standard	LHCQQA_S	9 (Arc,DS,MS), 9 (MS)	18
	QQS	LHCQQS_S	18 (Arc,DS,MS), 16 (MS)	34
	Assemblage	LHCLQA_S	18	10
	Outillage	LHCLQA_T	77	10
Plans de détail Composants	Proto Section Standard	LHCQQA_P	53	53
	Proto QQS	LHCQQS_P	15	15
	Section Standard	LHCQQA_S	10 (Arc,DS,MS), 16 (MS)	26
	QQS	LHCQQS_S	25 (Arc,DS,MS), 75 (MS)	100
Plans d'ensemble	Proto	LHCLQAAP	10	10
	Arc	LHCLQA_S	42	10
	DS	LHCLQD_S	73	16
	MS	LHCLQS_S	109	33
Plans Outillages	Outillages de tests Arc proto	LHCLQA_T	25	5
	Banc Dipôle	LHCLB_TP	105	9
	Section Standard DS	LHCLQA_T	55	9
	Section Standard MS	LHCLQA_T	70	7
	Stand Assemblage Arc,DS,MS	LHCLQA_T	320	30
			Total : 1150	Total : 395

Annexe 10 : Suivi industriel pour les Prototypes et pour la Série



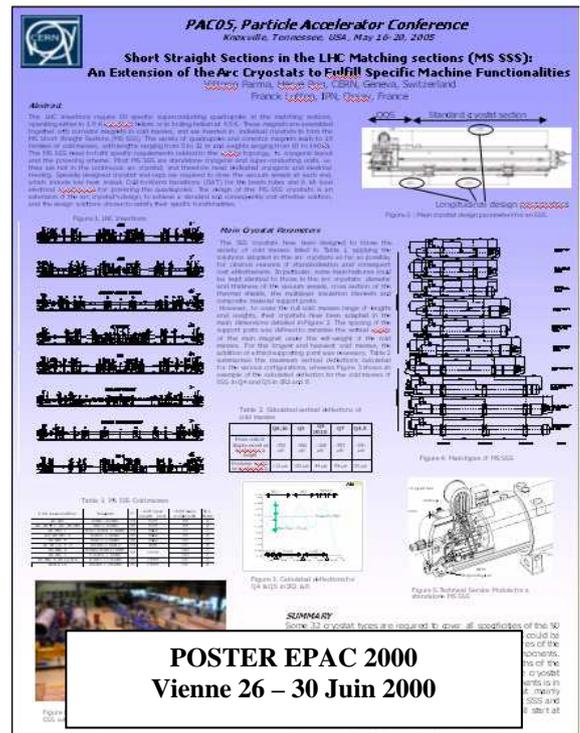
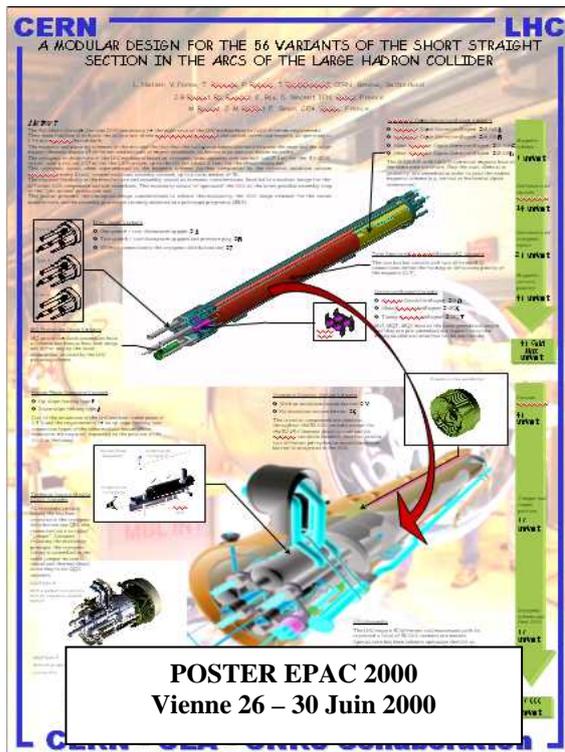
Annexe 11 : Revues



Annexe 12 : Publications

Conférences :

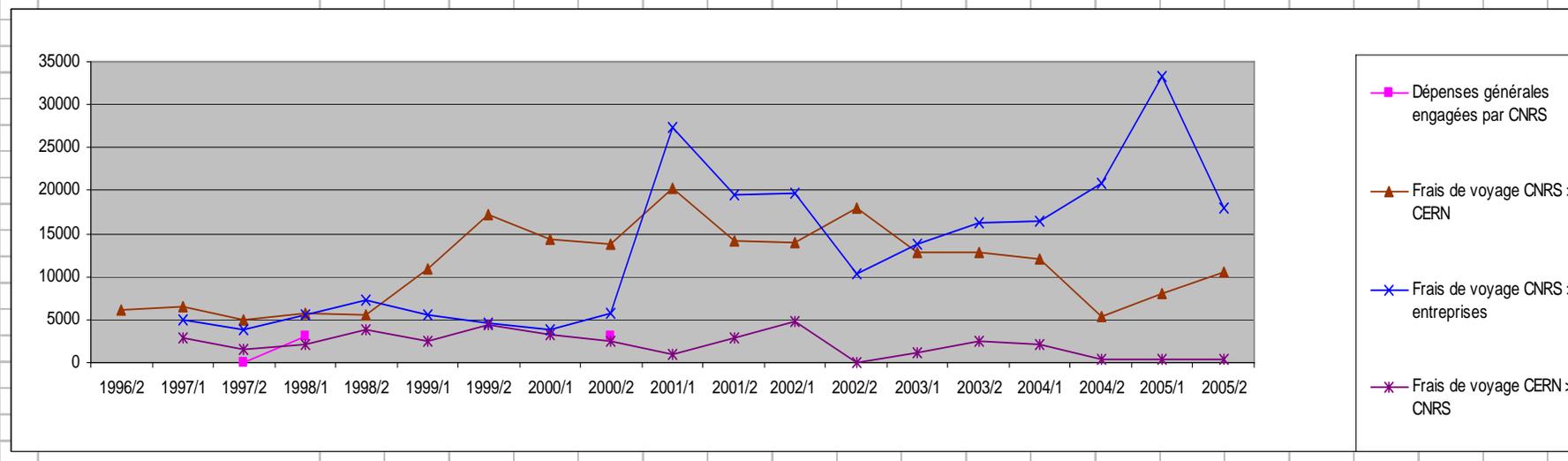
- **The Short Straight Sections for the LHC;** V. Parma, M. Peyrot, J-M. Rifflet, P. Rohmig, T. Tortschanoff, P. Vedrine, D. Vincent - 17th Particle Accelerator Conference May 1997, Vancouver, Canada (LHC-Project-Report-105)
- **The New Superfluid helium Cryostats for the Short Straight Sections of the CERN Large Hadron Collider (LHC);** W. Cameron, P. Dambre, T. Kurtyka, V. Parma, T. Renaglia, J-M. Rifflet, P. Rohmig, B. Skoczen, T. Tortschanoff, P. Trilhe, P. Vedrine, D. Vincent – Cryogenic Engineering Conference July 1998, Ohio, USA (LHC-Project-Report-162)
- **A Modular Design for the 56 Variants of the Short Straight Sections in the Arcs of the Large Hadron Collider (LHC);** J-B. Bergot, P. Dambre, L. Nielsen, V. Parma, M. Peyrot, T. Renaglia, J-M- Rifflet, P. Rohmig, E. Roy, F. Simon, T. Tortschanoff, D. Vincent – 7th European Particle Accelerator Conference June 2000, Vienna, Austria (LHC-Project-Report-417)
- **Thermal Performance of the LHC Short Straight Section Cryostat;** J-B. Bergot, N. Bourcey, L. Nielsen, V. Parma, P. Rohmig, E. Roy - 8th European Particle Accelerator Conference June 2002, La Villette Paris, France, Austria (LHC-Project-Report-571)
- **Short Straight Sections in the LHC Matching Sections (MS-SSS): An Extension of the Arc Cryostats to fulfil specific machine functionalities;** F. Lutton, V. Parma, H. Prin – 21st Particle Accelerator Conference May 2005, Knoxville, TN, USA (LHC-Project-Report-834)



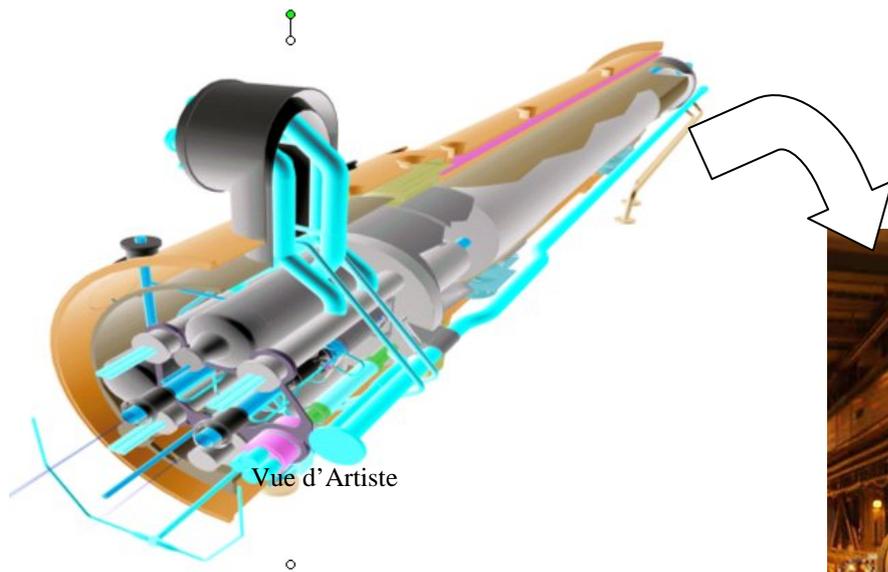
Annexe 13 : Budget Missions

Dépenses en CHF	1996/2	1997/1	1997/2	1998/1	1998/2	1999/1	1999/2	2000/1	2000/2	2001/1	2001/2	2002/1	2002/2	2003/1	2003/2	2004/1	2004/2	2005/1	2005/2	Total
Dépenses générales engagées par CNRS			23	3 093					3 134											6 249
Frais de voyage CNRS > CERN	6 078	6 585	5 062	5 762	5 495	10 964	17 174	14 353	13 717	20 321	14 152	13 990	17 945	12 888	12 720	12 044	5 441	8 026	10 610	213 328
Frais de voyage CNRS > entreprises		5 009	3 854	5 575	7 271	5 536	4 611	3 825	5 687	27 406	19 520	19 738	10 292	13 702	16 230	16 530	20 796	33 286	17 892	236 758
Frais de voyage CERN > CNRS		2 801	1 439	2 117	3 771	2 567	4 358	3 162	2 468	1 005	2 844	4 726	0	1 112	2 437	2 041	386	300	300	37 834

* : CHF / FF = 4 / 1; CHF/Euro = 1/1,5



Annexe 14 : Quelques Photos pour 10 ans de Collaboration



Annexe 14 bis : Quelques Photos pour 10 ans de Collaboration

