



www.cern.ch

La France et le CERN autour du LHC

Les défis technologiques du LHC

Les contributions de la France

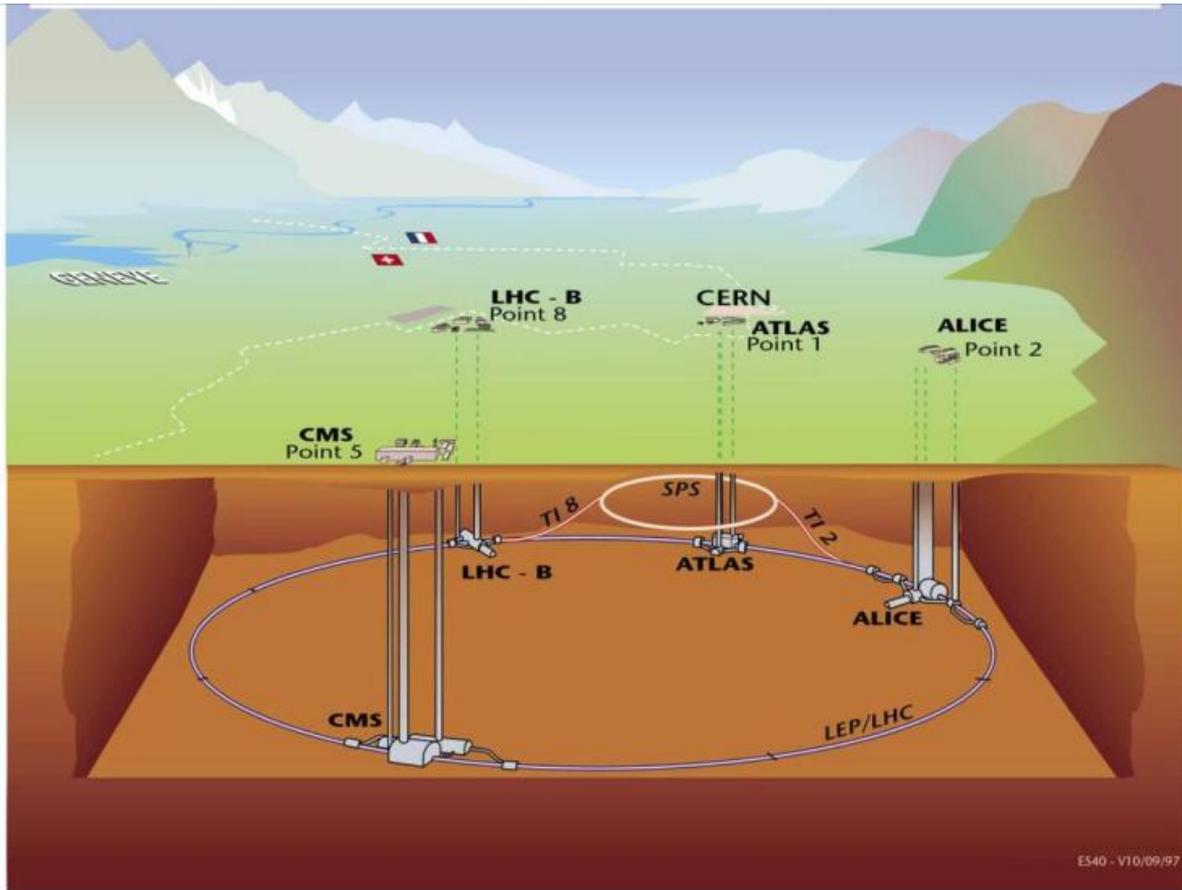
Frédéric BORDRY

24 Avril 2013

Le LHC (Large Hadron Collider) ?

**Un accélérateur-
collisionneur:
proton-proton
7 TeV – 7 TeV**

**Egalement des
collisions plomb-plomb
(énergie de collision de
1150 TeV)
et plomb-proton**

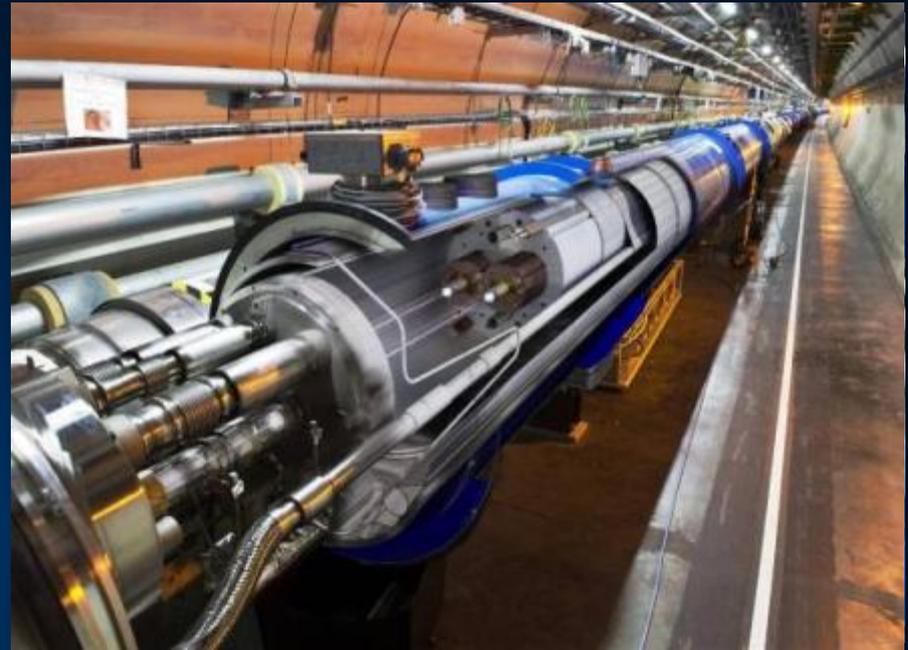


Un accélérateur de 27 km de circonférence...

LHC: les grands défis technologiques

Les spécifications de nombreux systèmes dépassaient le plus souvent l'état de l'art.

Il a fallu mener de longs programmes de R&D avec de nombreux instituts et industries du monde entier.

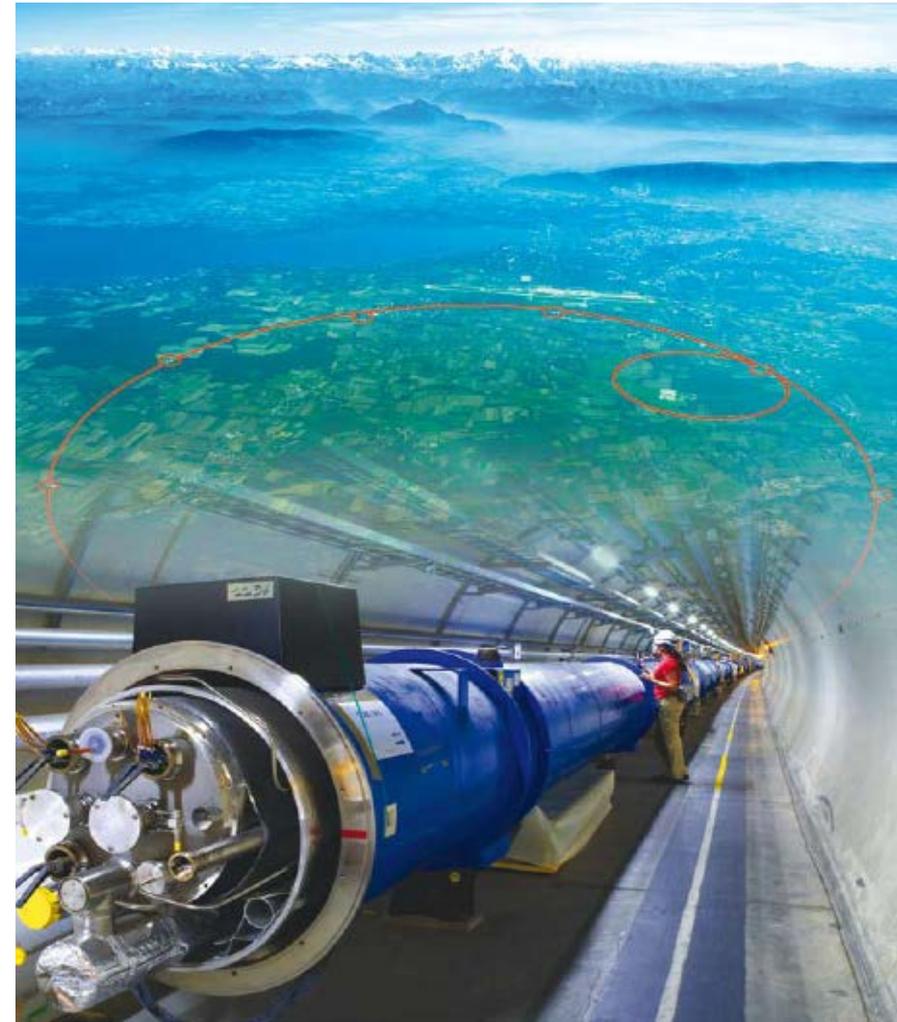


- ❑ **Aimants supraconducteurs à champ élevé: 8.3 T** (1232 aimants dipolaires de 15 m)
- ❑ **Le plus grand système d'aimant supraconducteurs** (~10'000 aimants)
- ❑ **La plus grande installation cryogénique 1.9 K** (hélium superfluide, 150 tonnes de LHe pour refroidir 37'000 tonnes)
- ❑ **Ultra-vide cryogénique pour les faisceaux de particules** (10^{-13} atm, 10 fois plus faible que sur la lune)
- ❑ **Des forts courants électriques contrôlés avec une grande précision** (jusqu'à 13 kA)
- ❑ **Une très grande précision pour les convertisseurs de puissance** (niveau du ppm)
- ❑ **Un système de protection ultra-fiable pour les aimants et les équipements** (énergies stockées: magnétique > 10 GJ, dans les faisceaux >700 MJ)

Le LHC (Large Hadron Collider) ?

**Un accélérateur-
collisionneur:
proton-proton
7 TeV – 7 TeV**

1983 : Etudes conceptuelles préliminaires



Un accélérateur de 27 km de circonférence...

Les origines: 1983-1984

Premiers études de faisabilité du LHC

Fin 1983 – début 1984: réunions préparatoires à l' *ECFA-CERN Workshop on the feasibility of a hadron collider in the LEP tunnel*, avec participation d'experts des laboratoires français

- CEA-Saclay: R. Turlay, J. Pérot, H. Desportes, J.C. Lottin, P. Prugne, J.C. Laclare
- CEA-Grenoble: P. Seyfert
- CNRS-LAPP: B. Aubert
- CNRS-LAL: J. Lefrançois, J. Le Duff

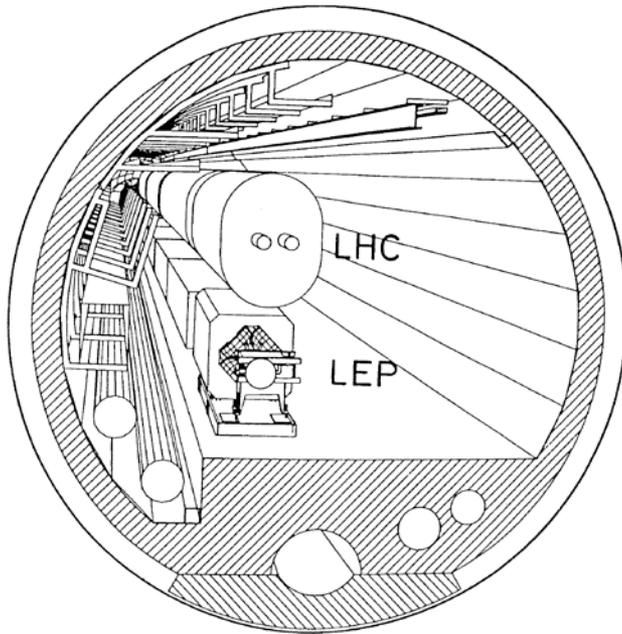
21-27 mars 1984: ***ECFA-CERN Workshop on the feasibility of a hadron collider in the LEP tunnel, Lausanne***

WG on superconducting magnets & cryogenics: participation de H. Desportes, J.C. Lottin, A. Patoux, J. Pérot, P. Prugne, G. Claudet, P. Seyfert

Présentation du rapport *Large Hadron Collider in the LEP tunnel*: dipole à ouvertures jumelées, bobines $\cos \theta$ à 3 ou 4 couches, colliers de serrage en aluminium, refroidissement à 4,5 K

Premiers aperçus du LHC (1984)

DIR-TECH/84-01
May 1984



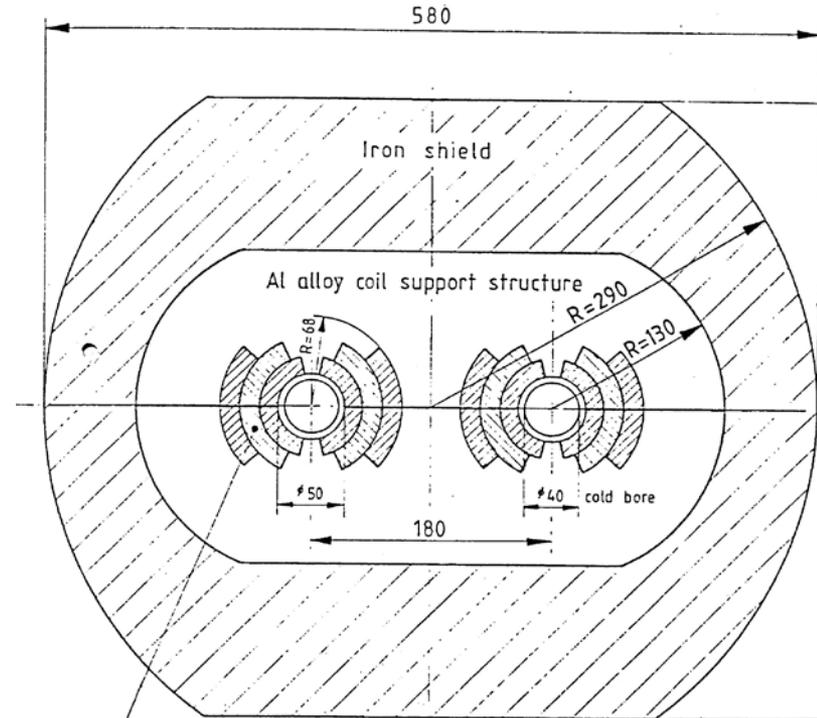
LARGE HADRON COLLIDER IN THE LEP TUNNEL

A feasibility study of possible options

by

The CERN Machine Group

Conception « two-in-one »



3 (or 4) layer windings

Fig. 10 Twin bore (2 in 1) magnet, cross-section type A

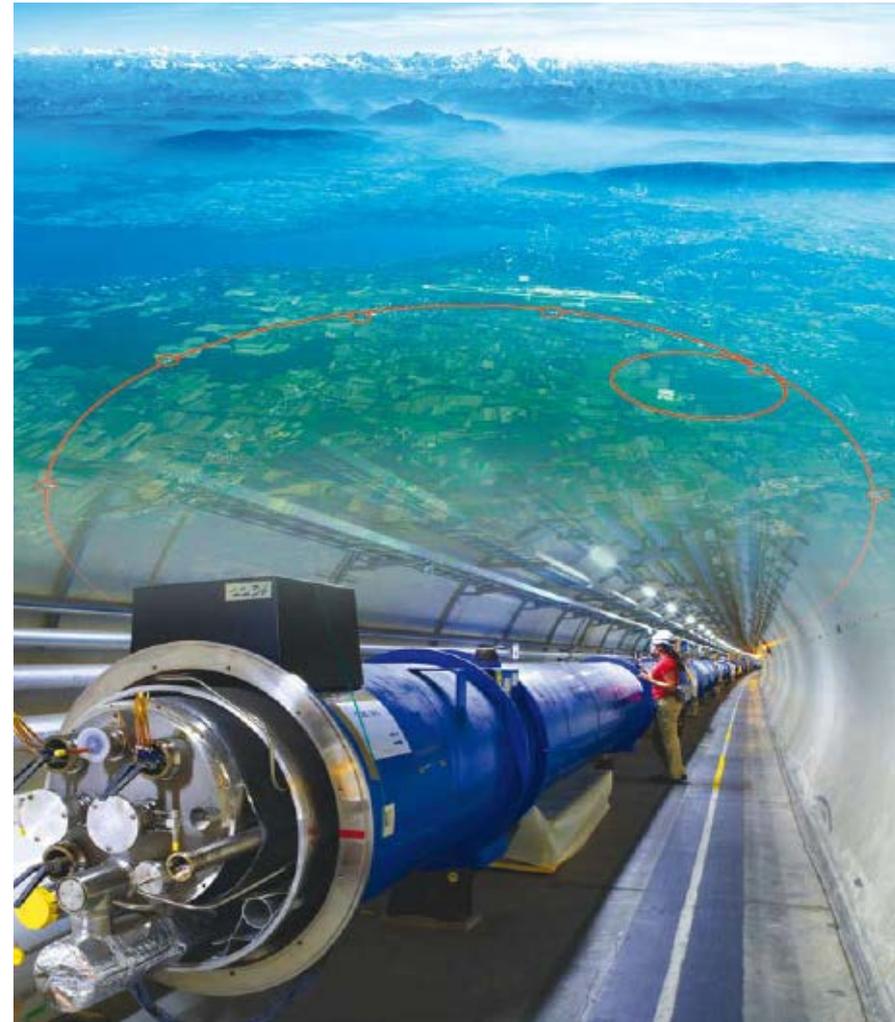
$$B_0 = 10 \text{ T}$$

$$J_{av} = 300 \text{ A mm}^{-2}$$

Le LHC (Large Hadron Collider) ?

**Un accélérateur-
collisionneur:
proton-proton
7 TeV – 7 TeV**

- 1983** : Etudes conceptuelles préliminaires
- 1988** : Premiers modèles d'aimants (faisabilité)



Un accélérateur de 27 km de circonférence...

Mise en route des «pre-collaborations»: 1985-1987

Aimants à haut champ et technologie de l'hélium superfluide

Discussions « au sommet »: G. Brianti – J. Horowitz

**Groupes de travail *High-field magnets* (H. Desportes, J.C. Lottin) et
LHC low-temperature option (G. Claudet, P. Seyfert)**

Etude préliminaire d'un système cryogénique à hélium superfluide

- Bobines $\cos \theta$ à 2 couches
- Refroidissement par conduction dans le superfluide pressurisé
- Écran de faisceau pour l'interception des charges thermiques dynamiques

Pré-collaboration CERN-CEA(IRF) pour le développement de la technologie de l'hélium superfluide

- Retour d'expérience de Tore Supra
- Schéma de convection forcée dans le superfluide pressurisé

Lancement par le CERN du projet d'aimant long TAP (Twin Aperture Prototype)

- Bobines HERA dans une structure à ouvertures jumelées, refroidies à 1,8 K
- Tests envisagés dans la station d'essais Tore Supra à Saclay

Collaboration CERN-CNRS (LAL) pour la réalisation du linac injecteur du LEP (LIL)



Le TAP, l'ancêtre des dipôles LHC

TAP CRYOMAGNET PARAMETERS

Superconductor	NbTi/copper cable	T
Nominal field	7.5	A
Nominal current	8625	MJ
Stored energy	4.06	mm
Coil inner diameter	75	m
Magnet outer diameter	0.58	m
Magnet length	9.15	m
Cryostat diameter	1.02	K
Cryostat length	10.33	kg
Temperature levels	80, 4.5, 1.8	l
Cold mass	15000	l
LHe capacity	390	
LN2 capacity	40	



Essais du TAP à Saclay

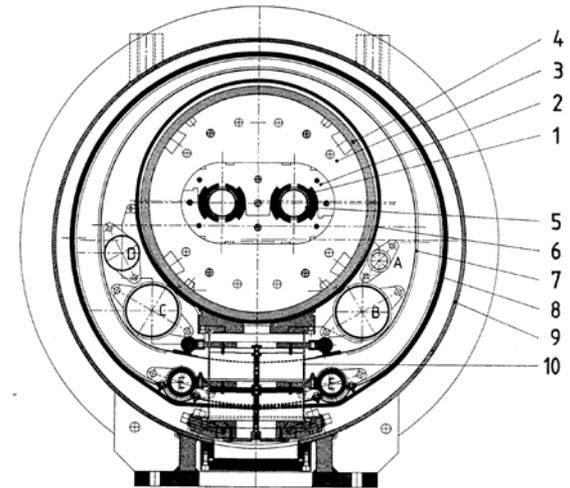


Figure 1 Transverse cross-section of the cryomagnet

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1: HERA-type superconducting coils | 6: helium vessel |
| 2: collars | 7: radiation screen |
| 3: magnetic circuit | 8: superinsulated LN2 screw |
| 4: shrinking cylinder | 9: vacuum vessel |
| 5: cold bore tube | 10: support post |

A & B: 1.8 K helium pipes
 C & D: 4.5 K helium pipes
 E: liquid nitrogen pipes

La premières collaborations: 1988 -1994

En route vers le LHC

Groupes de travail

- *Cryogénie* (G. Claudet, G. Didier, A. Gauthier, P. Seyfert): schéma de circulation forcée d'hélium superfluide
- *Thermique des bobines* (J.C. Lottin, C. Meuris): transfert thermique dans le superfluide en milieu quasi-poreux

Octobre 1988: Accord cadre de coopération CERN-CEA(IRF)

- Signé par H. Schopper pour le CERN et D. Cribier pour le CEA(IRF)
- *Développement des technologies... d'aimants supraconducteurs à champ magnétique élevé pour accélérateurs*
- *Développement des cavités HF supraconductrices*

8 Accords d'exécution: 1988-1994

l'hélium II, réfrigération à 1.8 K, quadripoles et stations d'essais

- Octobre 1988: Accord d'exécution No.1
 - Station d'essais et test d'aimants modèles
 - Thermique du conducteur
 - Station d'essai 1,8 K avec compresseur froid
 - Fabrication de cavités 1.5 GHz
- Octobre 1988: Accord d'exécution No.2
 - Modification bancs d'essais
 - Mesures de modèles et prototype d'aimant
- Novembre 1989: Accord d'exécution No.3
 - Etude des quadripoles principaux du LHC
 - Construction d'un prototype
- Novembre 1989: Accord d'exécution No.4
 - Thermo-hydraulique de l'hélium II pressurisé en circulation forcée
- Mars 1992: Accord d'exécution No.5
 - Essais complets du dipole TAP
 - Thermique des conducteurs
 - Construction d'un second prototype de quadripole et essais
- Mars 1992: Accord d'exécution No.6
 - Thermo-hydraulique de l'hélium II saturé en circulation
- Décembre 1993: Projet d'Accord d'Exécution No.7 (non signé)
 - Quadripole nouveaux paramètres
- Juillet 1994: Accord d'exécution No.8
 - Réfrigération 1,8 K de forte puissance

Le LHC (Large Hadron Collider) ?

Un accélérateur- collisionneur: proton-proton 7 TeV – 7 TeV

- 1983 : Etudes conceptuelles préliminaires
- 1988 : Premiers modèles d'aimants (faisabilité)
- 1994 : Approbation par le Conseil du CERN
(sous la présidence d'Hubert Curien)



Cette R&D en amont permet d'obtenir un aimant prototype de 10m de long qui atteint le champ de 8.73 T le 14 avril 1994

La France s'engage dans la construction du LHC: *les décisions politiques de 1994-1995*

Septembre 1994: lettre du ministre F. Fillon au DG du CERN au sujet d'une contribution exceptionnelle de la France au LHC, équivalente à 54,5 MCHF

Octobre 1994: lettre du président Ch. Millon aux collectivités locales
Annnonce d'une participation à hauteur de 52 MFRF ventilables en 50 % pour la région Rhône-Alpes, 30 % pour le département de l'Ain, 20 % pour le département de la Haute Savoie

Décembre 1994: lettre du ministre F. Fillon au DG du CERN
Confirmation d'un effort exceptionnel de 64,5 MCHF (54.5 MCHF + 10 MCHF additionnels)

Décembre 1994: approbation du LHC par le Conseil du CERN
Contributions volontaires de la France et de la Suisse pour aider et accélérer la réalisation

Avril 1995: lettre du ministre F. Fillon au DG du CERN
Proposition d'un effort du CEA et du CNRS évalué à 160 MFRF (valeur 1994) avec l'implication dans les organismes français d'environ 200 hommes-an

Le Protocole et les Accords Techniques: 1996

Février 1996: **Protocole de collaboration CERN-CEA-CNRS pour la construction du LHC**

Signé par Ch. Llewellyn Smith pour le CERN, G. Aubert et C. Détraz pour le CNRS et l'IN2P3, Y. d'Escatha et C. Cesarsky pour le CEA et la DSM, **en présence des ministres F. Bayrou et F. d'Aubert**

*«Pour répondre aux **défis technologiques considérables**, notamment dans le domaine des **aimants supraconducteurs** et de la **cryogénie**, le CERN le CEA et le CNRS expriment leur volonté de **collaborer étroitement** dans ces domaines en exploitant au mieux, dès la phase de conception et dans un **esprit de partenariat**, leur savoir faire et leur expérience propres»*

Accord Technique d'exécution No.1 *Collaboration CERN-CEA pour les masses froides avec quadrupoles des sections droites courtes*

Accord Technique d'exécution No.2 *Collaboration CERN-CNRS pour les cryostats et l'assemblage des sections droites courtes*

Accord Technique d'exécution No.3 *Collaboration CERN-CNRS pour l'instrumentation cryogénique*

Accord Technique d'exécution No.4 *Collaboration CERN-CEA pour la réfrigération à 1,8 K*

Masses froides avec quadropoles LHC (CEA Saclay)

MO Octupole
MQT Tuning quadrupole
MQS Skew quadrupole

MQ (F,D) Main quadrupole

MSCB (A,B,C,D) Sextupole-dipole corrector

Total needed in arcs: 360

MQ cold masses in fabrication hall

Cold masses delivered to CERN: 358

MQ magnets fabricated: 408

Assemblages des masses froides

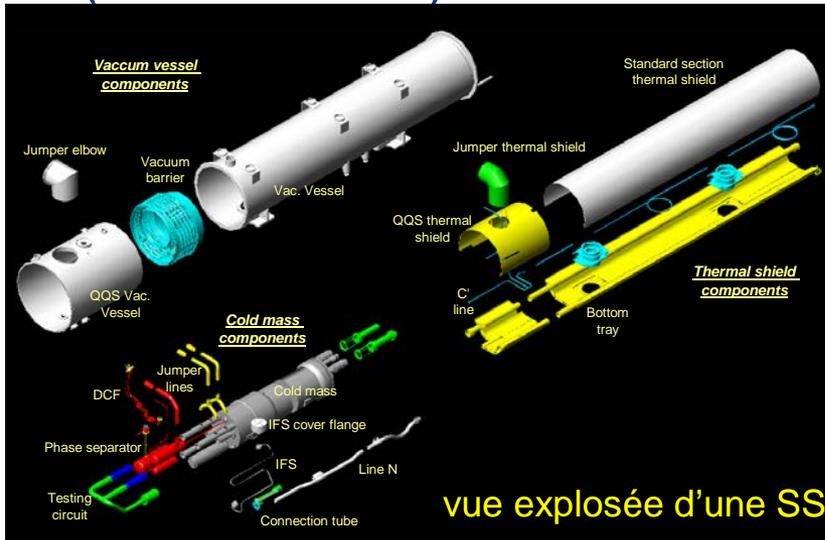
Dans l'usine



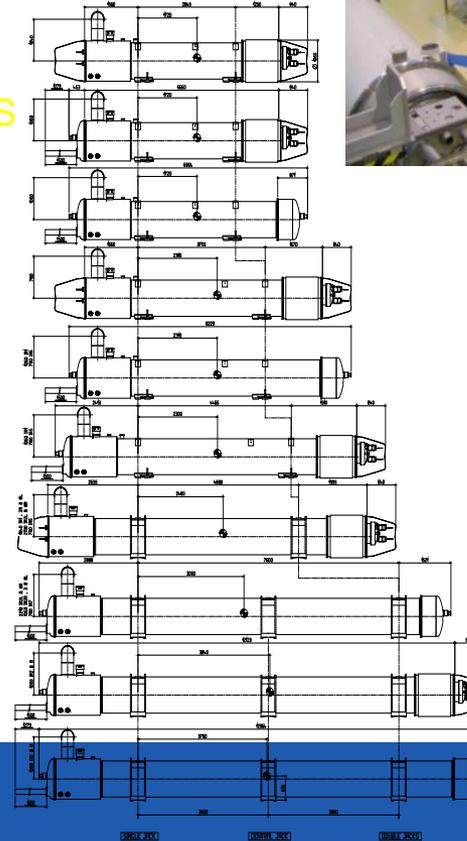
408 quadripôles et 360 masses froides
Fabriquées par ACCEL, en Allemagne



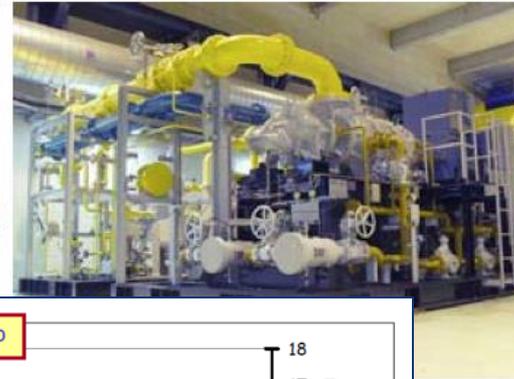
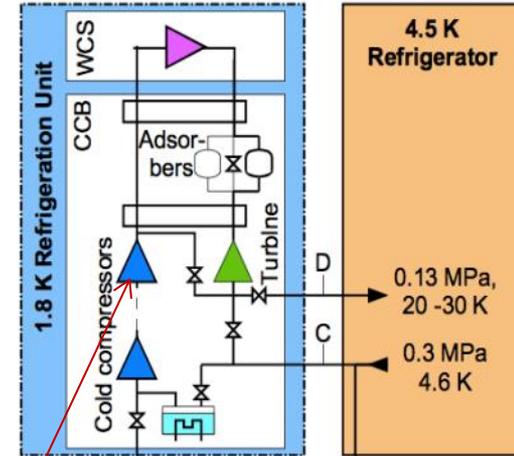
Conception sections droites courtes (SSS) et outillages d'assemblage (CNRS/IPNO)



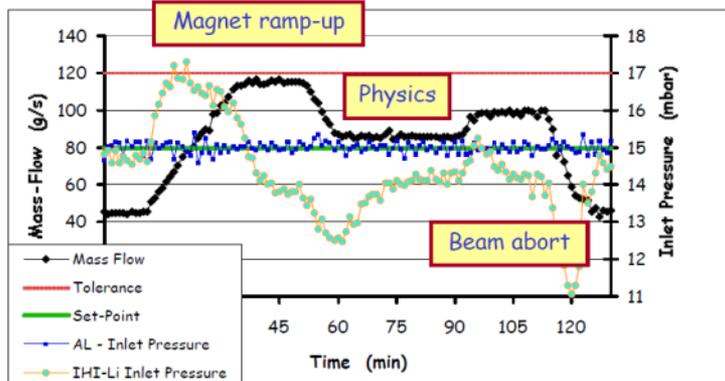
- 474 SSS
- 137 variantes



Unités de réfrigération a 1.8 K (CEA-SBT)

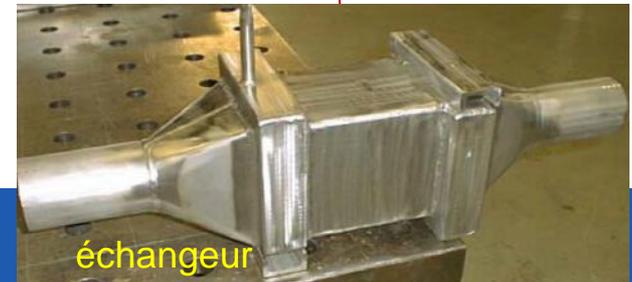


Cycle de référence



IHI - Linde :
± 2.2 mbar ...

Air Liquide :
± 0.3 mbar !

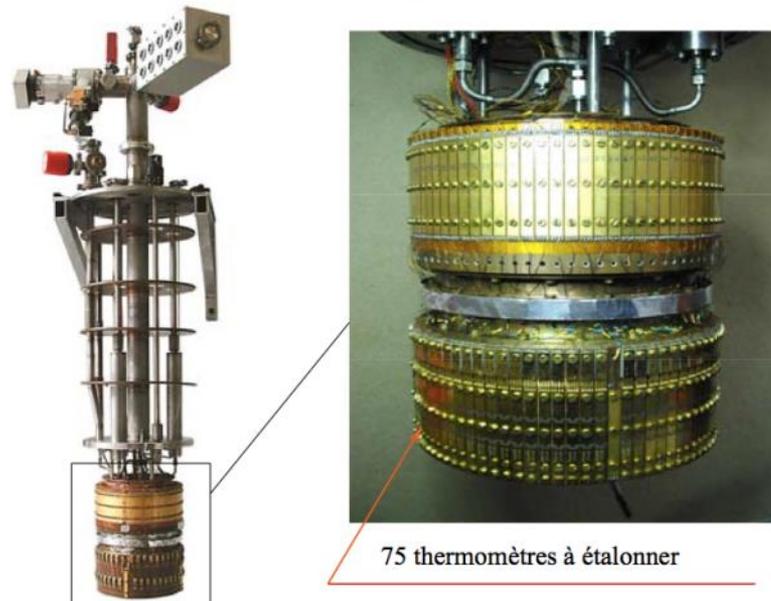


Étalonnage de 7000 thermomètres LHC (CNRS/IPNO)

Vue d'ensemble de la station



Insert, étalonnage sous vide



Thermomètres étalonnés

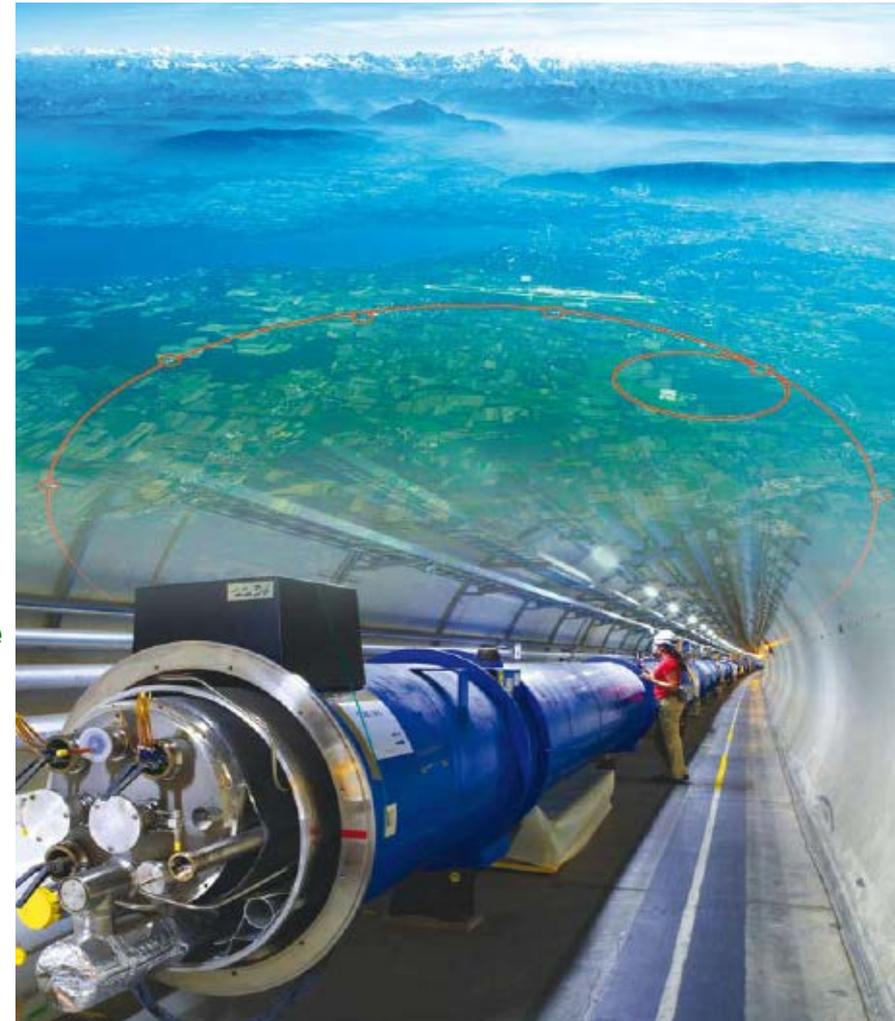
	2000 Pré-série	2001	2002	2003	2004	2005	2006
LT (Long Thermometer)	300	738	1274	406	558	536	1
ST (Short Thermometer)		297	1202	913	324	18	15
Nude		6	72	37	103	49	0
Total	300	1041	2548	1356	985	603	16

Total des thermomètres étalonnés pour le LHC : 6849

Le LHC (Large Hadron Collider) ?

Un accélérateur- collisionneur: proton-proton 7 TeV – 7 TeV

- 1983 : Etudes conceptuelles préliminaires
- 1988 : Premiers modèles d'aimants (faisabilité)
- 1994 : Approbation par le Conseil du CERN
(sous la présidence d'Hubert Curien)
- 1996-1999 : Industrialisation des productions de série
- 1998 : DUP & début du génie civil
- 1998-2000 : Passation des principaux marchés
- 2004 : Début de l'installation dans le tunnel
- 2005-2007 : Installation des aimants dans le tunnel
- 2007 : Test fonctionnel du premier secteur



Un accélérateur de 27 km de circonférence...

Assemblage final des cryo-aimants au CERN

**Aimant dipole:
35 tonnes , 15m
108 mH**

**1232 dipoles principaux
400 quadrapoles principaux**

LHC: 24 km d'aimants supraconducteurs (~10,000)... et beaucoup d'autres technologies



Cavités 400 MHz
SCRF (2x 15 m)



Cryogénie



Aimants pulsés
(kickers) pour l'injection



Collimateurs :
99.9% des pertes



Convertisseurs de
puissance: précision 1ppm

Construction du LHC: industries françaises très présentes

62 contrats industriels
> 1 MCHF
pour un total de
> 645 MCHF

ALSTOM MAGNETS & SUPERCONDUCTORS SA - JEUMONT INDUSTRIE	Cold masses of the superconducting dipole magnets for the LHC.	115 585 365
L'AIR LIQUIDE	23.4 KM LONG COMPOUND CRYOGENIC HELIUM DISTRIBUTION LINE	86 856 319
ALSTOM S.A.	Supply of the dipole inner layer SC cable (1)	56 392 507
ALSTOM S.A.	Supply of the dipole outer layer superc. cable (2)	54 100 659
TAYLOR WOODROW LTD-AMEC CIVIL ENG.LTD-SPIE BATIGNOLLES	LHC Civil engineering construction package (03)	45 786 097
ALSTOM ENERGIE SA - JEUMONT INDUSTRIE	SUPPLY OF THIRTY COLD MASSES OF DIPOLE MAGNETS	38 696 688
INTERTEC CONTRACTING(DK)CEGELEC CENTRE EST(FR)AMEC SPIE FR	Assembly of LHC Cryomagnets on the CERN Site	27 474 427
AMEC SPIE/F-CONTROLMATIC/DE	ELECTRICAL INSTALLATION WORK	23 878 840
AIR LIQUIDE	Supply & instal. of 2 cryogenic helium refrigerators for LHC	16 414 231
INEO-ENDEL-GTI	Assembly of the LHC interconnections in the tunnel	14 360 807
L'AIR LIQUIDE	SUPPLY AND INSTALLATION OF 4 HELIUM REFRIG. UNITS	13 687 268
JEHIER SA	Multi-layer insulation (MLI) for the LHC dipole cryomagnets	13 278 296
TEERAG-ASDAG, C.BARESEL AG, LOCHER & CIE AG	LHC Civil engineering construction (package 01)	11 502 748
EDF & KNIGHT PIESOLD	Civil Engineering Consultancy Services Package 01	8 865 401
AIR LIQUIDE DTA/FR - 40-30/FR - LAMERS/NL	Vacuum Support Activities on the CERN site.	8 840 646
L'AIR LIQUIDE	CRYOGENIC INTERCONNECTION BOXES FOR THE LHC	7 087 706
AIR LIQUIDE	Capacity upgrade of existing LEP2 helium refrig.	5 735 668
AMSE (FR)/ FABRICOM SA (BE)/ PRE-ELECTROMONTAZ (PL)	Installation and removal of Cables for Particle Accelerators	4 378 920
CIRTEM/E.E.I	Supply of Four-Quadrant Switch-mode Power Converters	4 118 501
ALSTOM S.A.	SUPPLY OF WORLDWIP FIELDBUS ELECTRONIC COMPONENTS AND ASSOCIATED SOF	4 072 670
SERCO FACILITIES MANAGEMENT- INEO ALPES - GERARD PERRIER IND	Essai d'échantillons de fils et câbles supraconducteurs	3 995 489
ASSYSTEM FRANCE - SAPHYMO GMBH	SUPPLY, INSTALLATION AND MAINTENANCE OF RADIATION MONITORING SYSTEMS	3 976 282
ALSTOM S.A.	Supply of enamelled superconducting wire for the LHC magnets	3 764 542
G.E.I.E GEMATEC (ELYO, SCHMEINK-COFR., DELATTRE-L., BELLELI)	Maintenance, exploitation et petits travaux d'installation pour les syst. de refroidi	3 608 747
AMEC SPIE COMMUNICAT/FR + MELOTTE INSTALLATIETECHNIEK B.V/NL	SUPPLY OF A CERN SAFETY ALARM MONITORING SYSTEM	3 561 126
THALES INDUSTRIAL SERVICES	Supply of 400 MHz, 300 kW cw klystrons for LHC	3 438 817
D.B.S. TECHNIQUE	Transport and Handling Services	3 289 645
L'AIR LIQUIDE	12 cryogenic feed boxes for the test of the LHC magnets	3 190 145
AIR ET CHALEUR-DSD-SPIE TRINDEL	HEATING COOLING VENTILATION SURFACE BULDINGS LHC	3 097 240
SOCIETE DES CERAMIQUES TECHNIQUES (SCT) USF (US FILTER COMP)	Instrumentation Feedthrough Cover Flanges	3 095 804
ALSTOM ENERGIE SA - JEUMONT INDUSTRIE	SUPPLY OF SUPERCONDUCTING COLLARED COILS	2 367 704
CENTRE ELECTRONIQUE DE LAVAL	Supply of 60A, 8V Four Quadrant Switch-mode Power Converters	2 201 304
SERCO FACILITIES MANAGEMENT/NL - GPI/FR - INEO ALPES/FR	Technical services for work of components of CERN Particle A	2 116 321
CICERON	Location de camion-grues avec chauffeur	2 115 006
INSTITUT DE SOUDURE (IS)	Inspections of Welds Executed at CERN on LHC Equipment	1 979 043
CERCA	Supply of LHC Collimators	1 961 367
COSSEC - WATERMANN INTERNATIONAL	Mission coordination securite, sante, cond.travail pour lhc	1 945 709
ENDEL/FR + AXIMA/BE + GTI/NL	Operation and Maintenance of cooling and ventilation	1 920 029
DATE DEVEL.ET APPLIC.DES TECHNIQ.DE L'ENERGIE	SUBCOOLING HELIUM HEAT EXCHANGERS FOR LHC	1 900 904
GROUPE SCHNEIDER	Framework cond.of program. logic control.&automation product	1 888 869
AMEC SPIE/FR, WINTER GMBH/DE	Supply and Instal. of Automatic Gas Detection Systems	1 816 124
GTD/ES-CEGELEC/FR-ALSTOM S&S/BE	CONTROL SYSTEM FOR LHC CRYOGENICS	1 814 829
SETIC S.A.S.	Supply of one machine for manufacturing superconducting cables for LHC	1 800 291
CONSORTIUM SETIS (LEADER), INTROTECH BV, MAP GEOMATIQUE	Geometrical Metrology of the LHC Cryo-Magnets	1 757 696
SPIE-TRINDEL	Travaux de maintenance du système de commande des ISR (câblage électronique e	1 713 098
CEGELEC CENTRE EST(FR) CEGELEC B.V. (NL) SEMER (FR)	SUPPLY, INSTALLATION, COMMISSIONING AND MAINTENANCE OF THE LHC ACCESS	1 600 957
CEGELEC	DESIGN, SUPPLY, INSTALLATION AND MAINTENANCE OF THE LHC ACCESS CONTROL	1 556 426
SGS FRANCE	IS for Vacuum work for the CERN Accelerators	1 399 092
SADE - CIE GEN. DE TRAVAUX D'HYDRAULIQUE	LHC/DETOURNEMENT CONDUITES...	1 327 165
SIGMAPHI S.A.	SC Corrector Magnets MCBX for the inner triplets of the LHC	1 311 324
AMEC SPIE AC SA (EX AIR CHALEUR SA)	SUPPLY, INSTALLATION AND MODIFICATION OF AIR-HANDLING SYSTEMS FOR LHC	1 260 390
METAREG	Travaux de serrurerie, menuiserie métallique et charpente	1 228 679
HAZEMEYER SA	TABLEAUX DE DISTRIBUTION BASSE TENSION 400V	1 220 183
JEHIER SA	Supply of Multi-Layer Insulation (MLI) for the SSS	1 204 077
ALSTOM S.A.	SUPPLY OF SUPERCONDUCTING MULTI WIRE CABLE	1 181 742
G.T.D / ES - CETE APAVE / FR	Coordination securité&santé pendant installation projet LHC	1 171 728
SGS QUALITEST, SGS GOTTFELD, LOGITEST, AMEC SPIE	IS for Vacuum work for the CERN Accelerators	1 165 906
SIGMAPHI S.A.	Supply of resistive coils for the ALICE muon arm dipole magn	1 106 468
L'AIR LIQUIDE	Supply and installation of a PRE-SERIES TEST CELL	1 059 051
SIMRAD OPTRONICS ICARE (ICARE SA)	Blanket purchase contract for automatic air-sampling systems for fire and gas detec	1 055 261
TECPHY S.A. (GROUPE H.T.M.)	SUPPLY OF 21 VACUUM TANKS FOR LHC SUP.CAVI	1 008 467

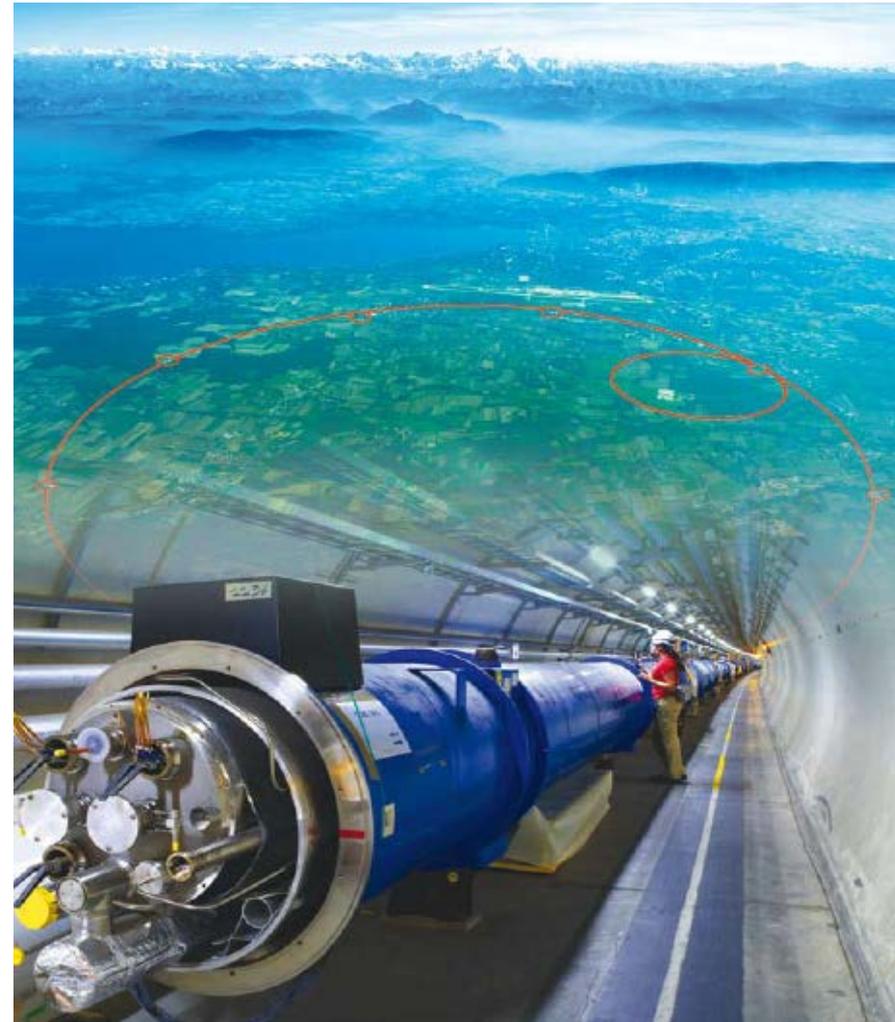


Les défis technologiques du LHC.
 Les contributions de la France
 F. Bordry
 24 Avril 2013

Le LHC (Large Hadron Collider) ?

Un accélérateur- collisionneur: proton-proton 7 TeV – 7 TeV

- 1983 : Etudes conceptuelles préliminaires
- 1988 : Premiers modèles d'aimants (faisabilité)
- 1994 : Approbation par le Conseil du CERN
(sous la présidence d'Hubert Curien)
- 1996-1999 : Industrialisation des productions de série
- 1998 : DUP & début du génie civil
- 1998-2000 : Passation des principaux marchés
- 2004 : Début de l'installation dans le tunnel
- 2005-2007 : Installation des aimants dans le tunnel
- 2007 : Test fonctionnel du premier secteur
- 2008-2009 : Fin de la mise en service et réparation
- 2009-2030 : **Exploitation pour la physique**



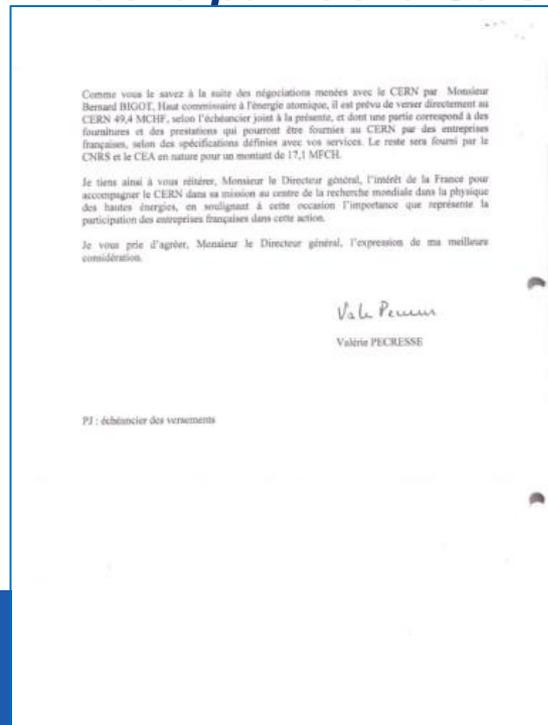
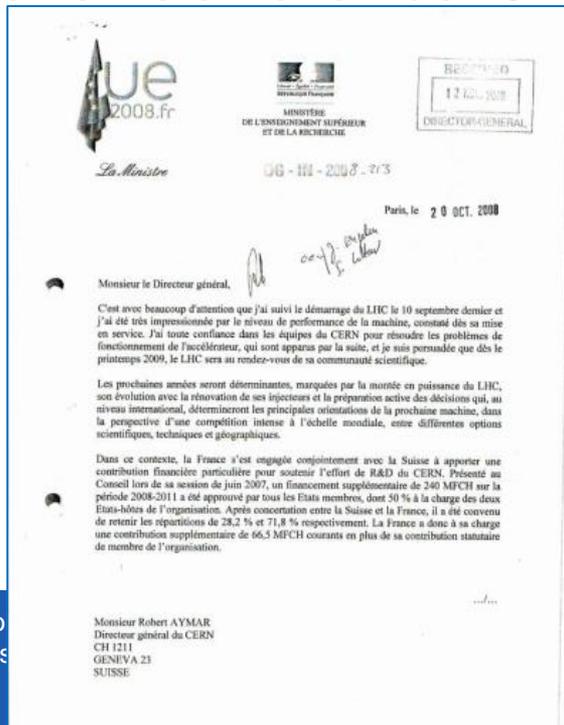
Un accélérateur de 27 km de circonférence...

La France soutient le LHC et la R&D du CERN: *La contribution exceptionnelle de 2008*

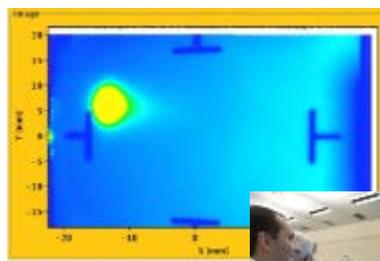
2008: discussions préparatoires entre B.Bigot, Haut Commissaire à L'Énergie Atomique, et R.Aymar, DG du CERN

Octobre 2008: lettre du ministre V. Pecresse au DG du CERN

Confirmation d'un effort exceptionnel de 66.5 MCHF (dont 17.1 MCHF en nature fourni à travers le CEA et CNRS) de la part de la France, conjointement à un effort de 26 MCHF de la part de la Suisse



Août 2008
Premier test
d'injection



3.5 TeV



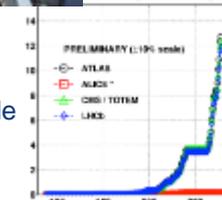
2.3e33, 2.0
1380 paquets

4 July, 2012
Announce du Higgs



10 Septembre 2008
Premiers faisceaux
circulants

29 Novembre 2009
Le faisceau est de
retour



14 Octobre 2010
1e32

Avril 2010 248 paquets
Squeeze à 3.5 m

28 Juin 2011
1380 paquets

1380

6 Juin 2012
6.8e33

2008

2009

2010

2011

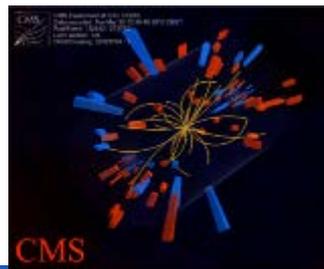
2012

19 Septembre 2008

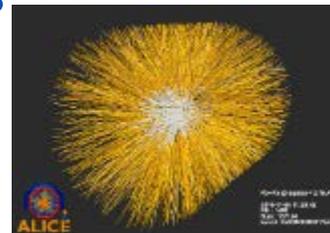
Incident sur une interconnexion
600 MJ d'énergie stockée dans un secteur du LHC



30 Mars 2010
Premières collisions à 3.5 TeV



Novembre 2010
Ions



18 Juin 2012
6.6 fb⁻¹
ATLAS & CMS

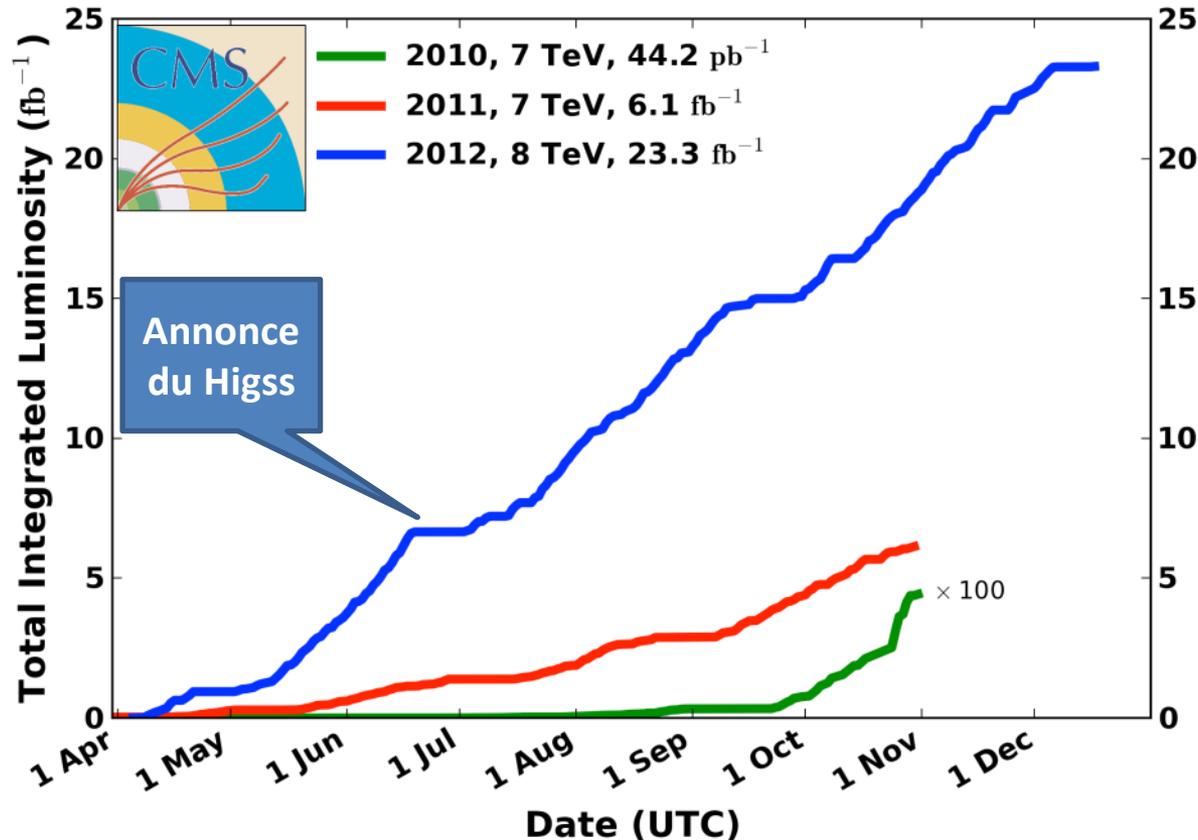
Les défis technologiques du LHC.
Les contributions de la France
F. Bordry
24 Avril 2013



2010-2012: une belle moisson de collisions

CMS Integrated Luminosity, pp

Data included from 2010-03-30 11:21 to 2012-12-16 20:49 UTC



2010: **0.04 fb⁻¹**
7 TeV CdM
Mise en service

2011: **6.1 fb⁻¹**
7 TeV CdM
... exploration des limites

2012: **23.3 fb⁻¹**
8 TeV CdM
... production

3.5 TeV puis 4 TeV
Jusqu'à 1380 paquets
de 1.5 10¹¹ protons

Défi: gestion des énergies stockées

Energie magnétique stockée dans les aimants: **11.3 GJoule**

10 GJoule \cong volant à 700 km/h



Energie stockée dans les faisceaux: **720 MJ** [$6 \cdot 10^{14}$ protons (1 ng of H^+) à 7 TeV]

700 MJ suffisant pour fondre 1 tonne de cuivre



700 MJoule qui doivent être déchargés en 88 μ s
(27 km à la vitesse de la lumière)

$700 \cdot 10^6 / 88 \cdot 10^6 \cong 8$ TW

Puissance électrique mondiale installée $\cong 3.8$ TW

90 kg de TNT par faisceau

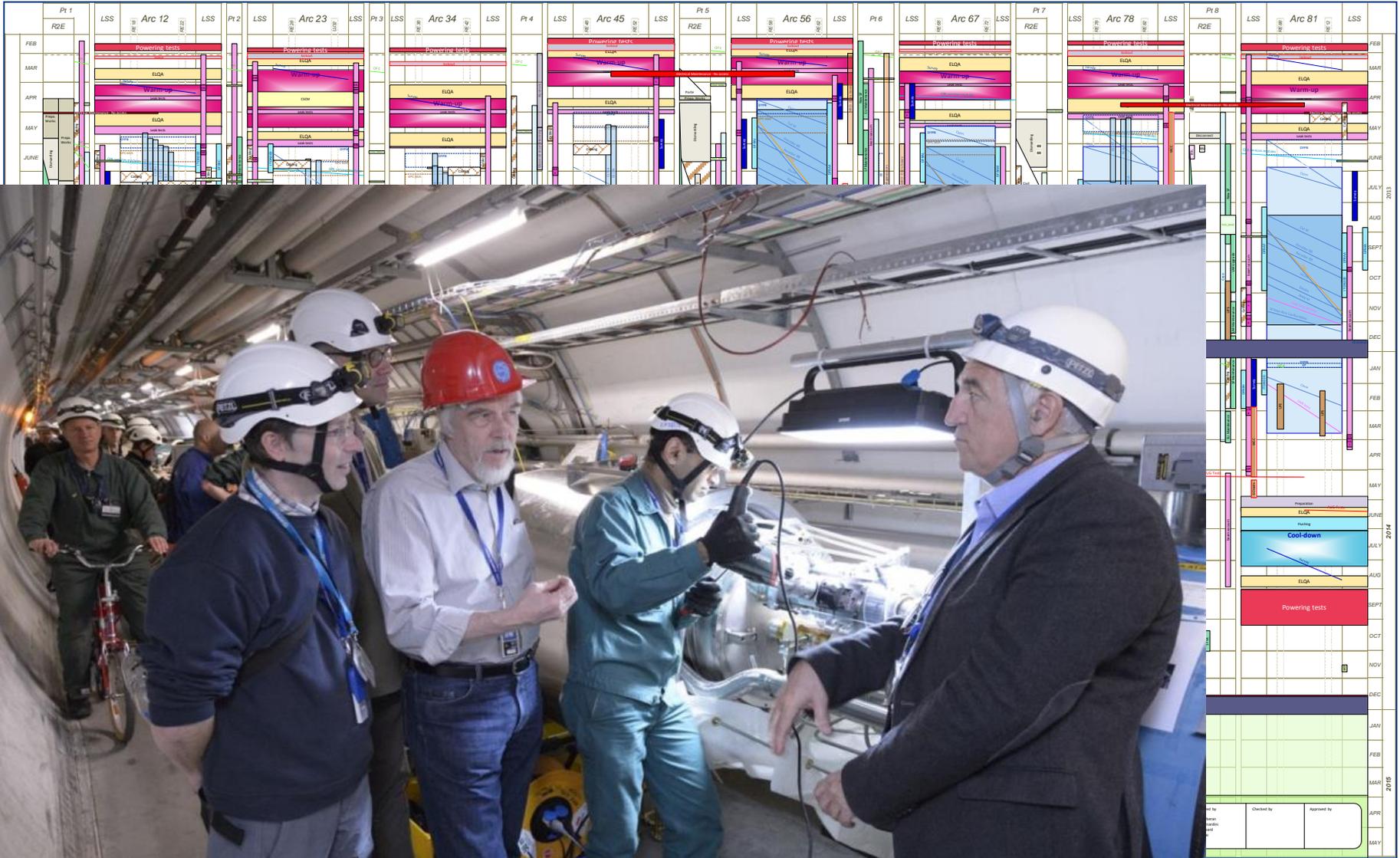


Long Shutdown 1 (LS 1: Fév. 2013- Déc. 2014)

LS1 a été conçu comme un long arrêt technique pour la consolidation des interconnexions entre les aimants principaux afin d'atteindre le courant nominal dans les circuits quadripôles et dipôles du LHC.

Il est devenu maintenant un arrêt qui comprend, en outre, la maintenance, la consolidation, la modernisation de l'ensemble du complexe des accélérateurs du CERN et des installations expérimentales associées, après 3 années pleines d'opération des installations.

LS1: LHC schedule



Thursday 18th April 2013

- Physics
- Beam commissioning
- Shutdown
- Tests

LS1

de mi-février 2013 à fin décembre 2014

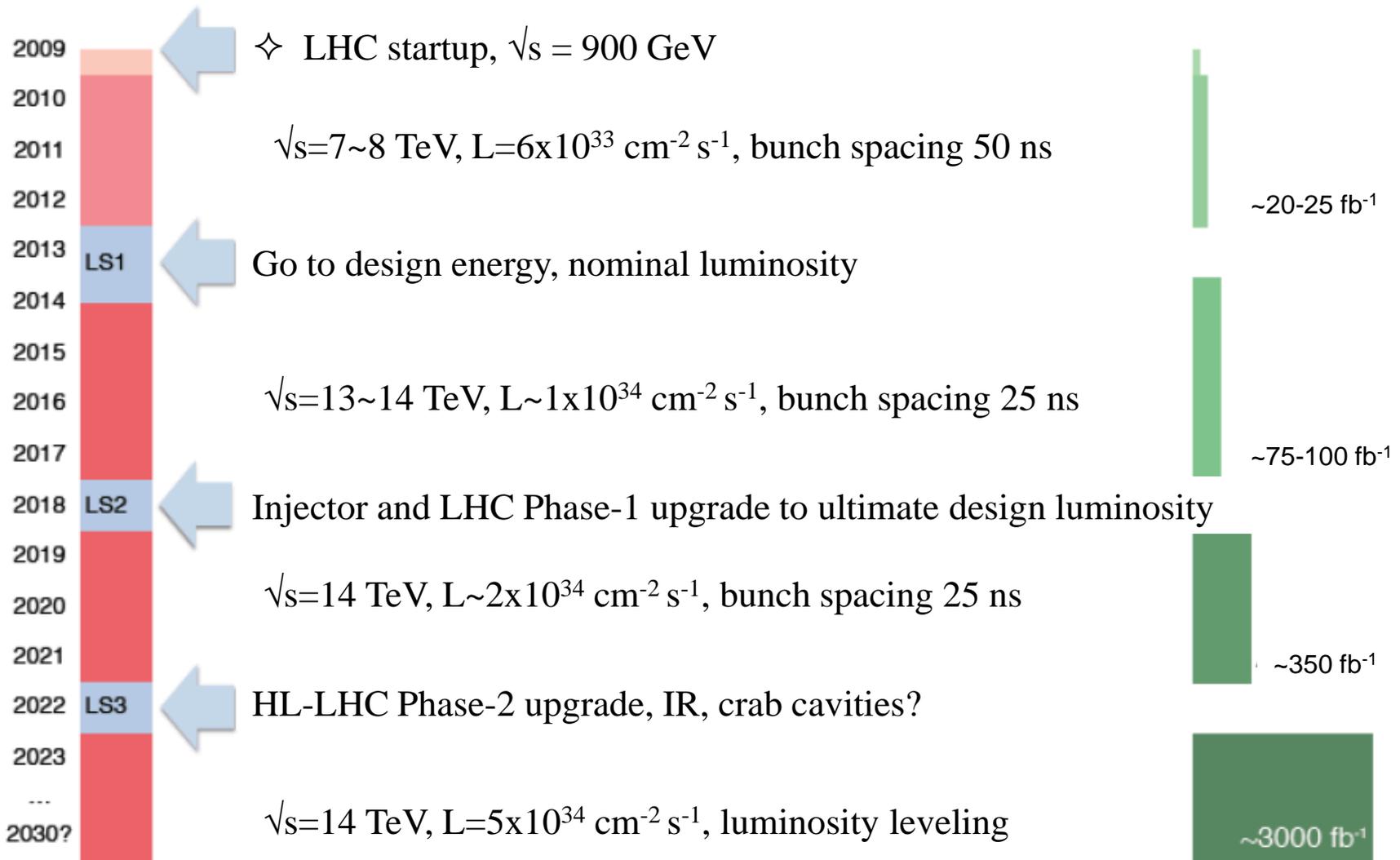
2013

| 2014

| 2015



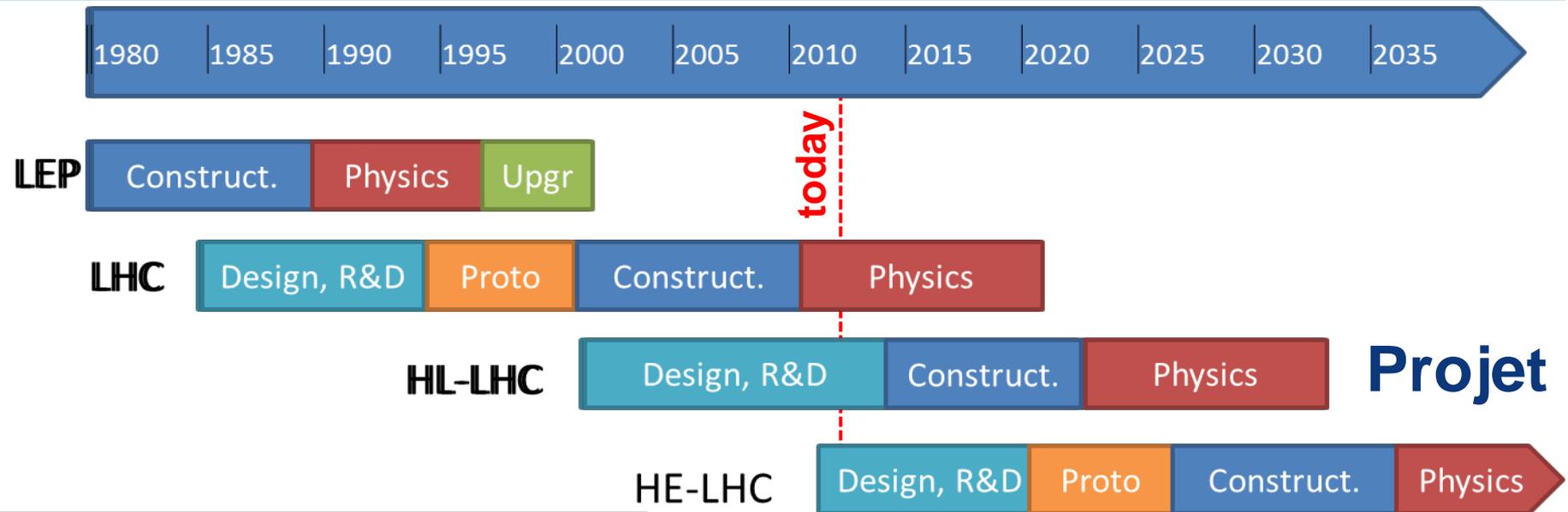
"Pleine Exploitation du potentiel du LHC"



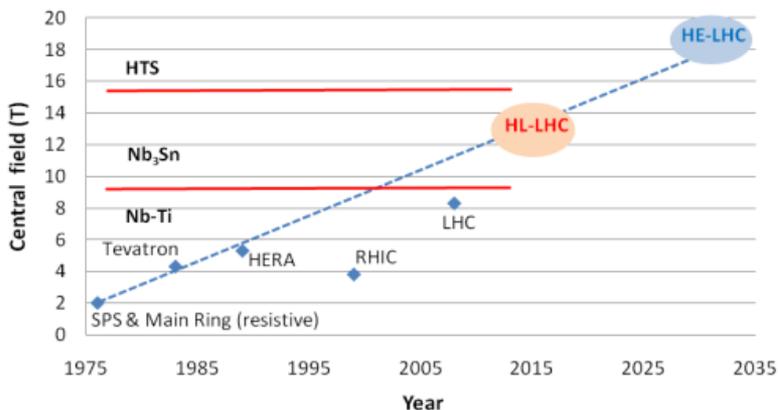
“Europe’s top priority should be the exploitation of the full potential of the LHC, including the high-luminosity upgrade of the machine and detectors with a view to collecting ten times more data than in the initial design, by around 2030. “

“CERN should undertake design studies for accelerator projects in a global context, with emphasis on **proton-proton** and electron-positron **high-energy frontier machines**.”

(Update of the European Strategy for Particle Physics)



Dipole Field for Hadron Collider



2000 aimants de 16-20 T
27 à 33 TeV dans le cdm

Un tunnel de 80-100 km dans la région genevoise (VHE-LHC) avec la possibilité de collisions e^+e^- (TLEP) and $p-e$ (LHeC)

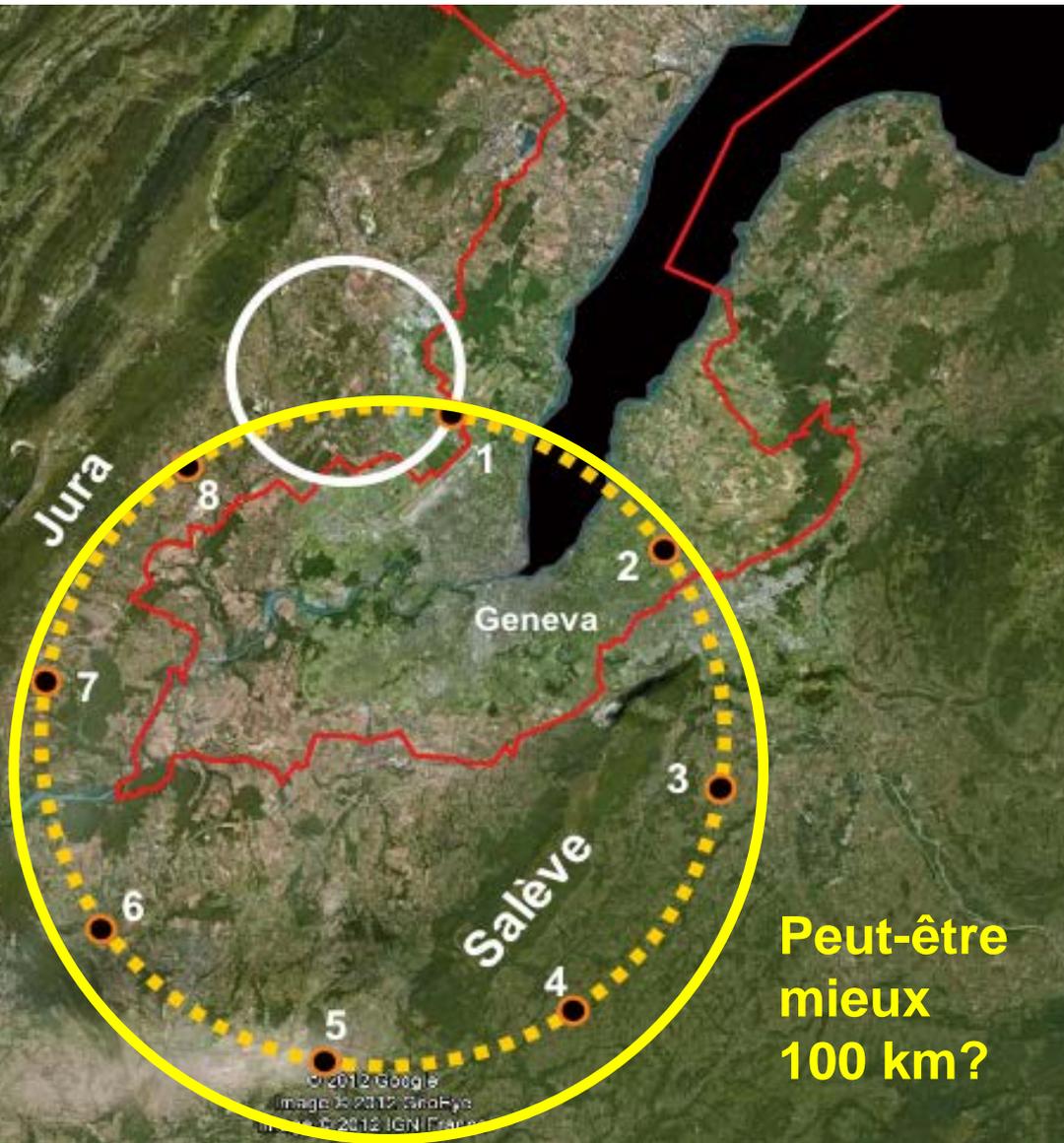
16 T \Rightarrow 100 TeV - 100 km
20 T \Rightarrow 100 TeV - 80 km

LEGEND

— LHC tunnel

..... HE_LHC 80km option

● potential shaft location



Peut-être
mieux
100 km?

La France et le CERN autour du LHC: *histoire d'un succès*

- Une R&D en amont, dès la phase initiale de conception
- Volonté de travailler ensemble à des objectifs communs, dans un esprit de partenariat
- Compétences spécifiques dans les domaines techniques de la collaboration
- Cadre d'ensemble applicable à tous mais respectant la flexibilité nécessaire aux diversités « culturelles » et aux évolutions
- Suivi rigoureux: Comité de Suivi de Protocole (CSP) périodiques, réunions d'Accords, compte rendus détaillés, revues de projet, actions, ressources
- Adaptabilité à un environnement changeant, dans le respect de l'esprit du Protocole

Une opportunité pour l'industrie française d'être en alerte et de se préparer aux appels d'offres.

Poursuite et pérennisation de la collaboration France - LHC :

- La Stratégie européenne ouvre de très riches perspectives (HL-LHC et R&D)
- Le CERN souhaite s'appuyer sur les Instituts Nationaux
- Les technologies du LHC nécessitent un engagement soutenu et à long terme.
- Toutes les études et réalisations entamées doivent être poursuivies et de nouvelles études pour les futurs accélérateurs du CERN doivent être engagées
- Les investissements matériels et humains qui existent et qui résultent des précédents programmes doivent être employés

Dans cette période de crise économique, il faudra être inventif pour trouver le financement de ces collaborations.



www.cern.ch