

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 130 (2004)
Heft: 12: Cern construction du LHC

Artikel: Le montage du détecteur CMS
Autor: Gerwig, Hubert / Hervé, Alain
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99320>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le montage du détecteur CMS

PHYSIQUE

L'expérience CMS (Compact Muon Solenoid) implique un détecteur destiné à opérer à la plus forte luminosité du LHC, le nouveau collisionneur proton-proton actuellement en construction au CERN. Les éléments clés de ce dispositif sont : un très fort champ magnétique solénoïdal (quatre teslas) combiné à un système de chambres à muon multicouches, un calorimètre électromagnétique à cristaux scintillants, un calorimètre hadronique à tuiles et un système très performant de trajectographe interne réunissant un grand nombre de capteurs en silicium.

Générer 100 000 fois le champ magnétique terrestre

Grâce au champ magnétique généré par la bobine, la trajectoire des particules chargées est courbée selon un rayon de courbure proportionnel à l'impulsion de la particule. Une bonne résolution du système muon requiert donc le champ magnétique le plus fort possible. Le projet CMS a exploité cette voie en choisissant un aimant de quatre teslas, ce qui allège les exigences s'appliquant à la résolution spatiale des détecteurs de muons.

Le système magnétique consiste en un solénoïde de 12,5 m de long avec un diamètre interne libre de 6 m, qui génère un champ solénoïdal de quatre teslas (100 000 fois le champ magnétique terrestre). Le flux magnétique est

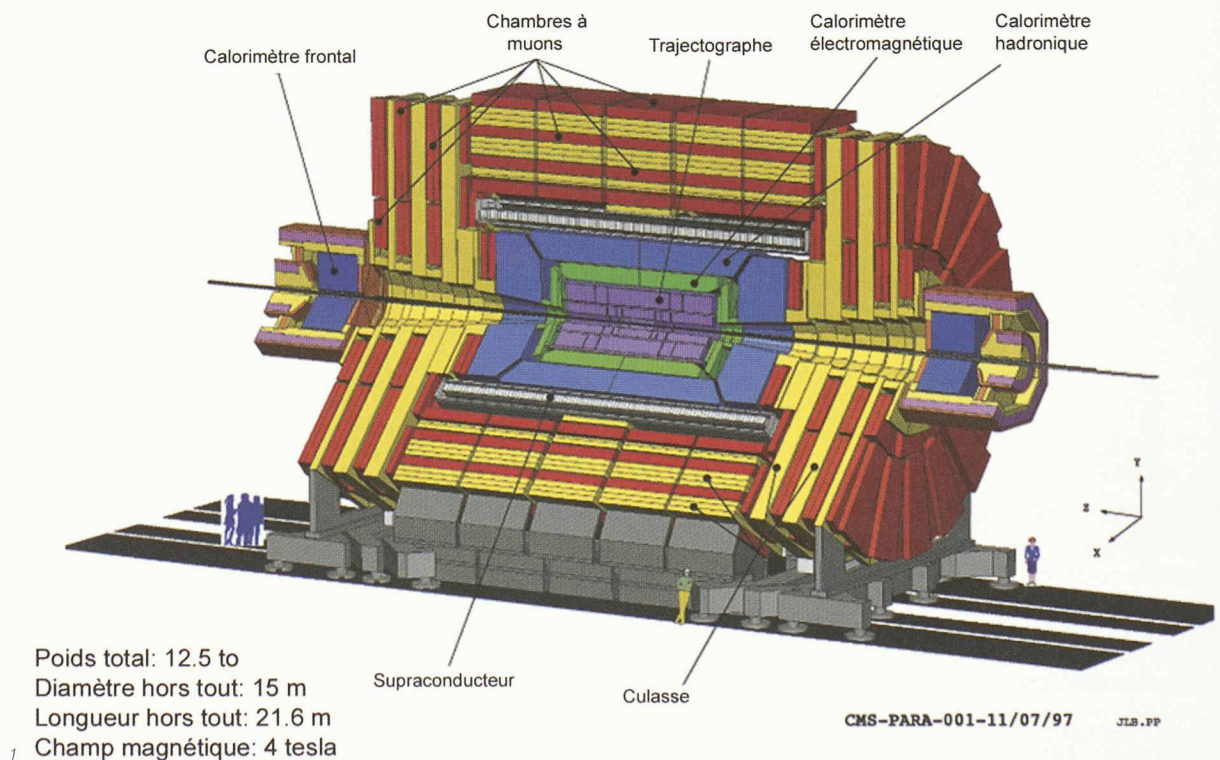


Fig. 1: Vue perspective en coupe de l'expérience CMS en position fermée

Fig. 2: Tank à vide fixé à l'anneau central du baril qui pèsera 2000 tonnes, avec à gauche deux des anneaux extérieurs pesant chacun 1000 tonnes.

Fig. 3: La Grande Roue de 9,5 m de diamètre ayant servi à assembler les anneaux du baril, avec la couche intérieure d'un des barils terminée

ensuite capté par les disques bouchons situés de part et d'autre du baril CMS (partie quasi-cylindrique), puis retourné de l'autre côté par trois couches de fer de retour saturé, qui présentent une épaisseur totale de 1,50 m. La figure 1 montre une coupe du CMS.

La culasse, aussi bien dans la partie baril que dans les bouchons, fait en même temps office de structure porteuse générale du détecteur. Ses dimensions et sa masse sont importantes: une longueur de 22 m pour un diamètre de 15 m et une masse totale de plus de 10 000 tonnes.

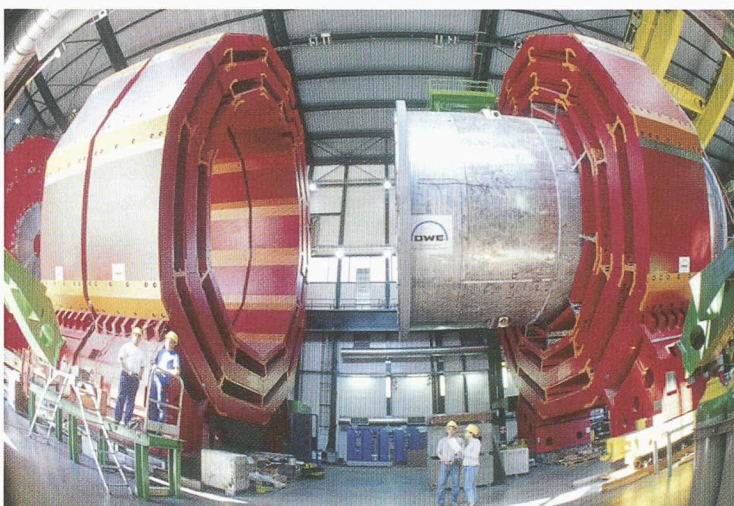
Dès les premières études pour le CMS, de multiples paramètres ont été considérés qui en ont fortement influencé la conception, par exemple :

- la gestion du flux magnétique et des forces engendrées par celui-ci (10 000 tonnes de force d'attraction entre les bouchons),
- la capacité de l'industrie mondiale à fabriquer les éléments nécessaires et les possibilités de transport sur route/chemin de fer/fleuve,
- les possibilités de montage à blanc des grands éléments chez les fabricants pour éviter des retouches coûteuses sur site,
- le scénario de maintenance dans la caverne,
- et, dès le début, la décision de monter l'expérience en surface, avant de la transférer quasiment terminée par sections lourdes allant jusqu'à 2 000 tonnes.

Pour installer de gigantesques équipements à cent mètres sous terre...

CMS a été divisé en cinq anneaux, formant la partie baril, dont le poids varie entre 1 250 et 1 900 tonnes avec, de chaque côté du baril, trois disques servant de bouchon dont le poids varie entre 500 et 1 400 tonnes par unité. Supportant la bobine de 250 tonnes, le grand tank à vide en acier inoxydable - nécessaire pour l'isolation thermique de la bobine supraconductrice travaillant à -269°C - est lui-même supporté par l'anneau central ce qui explique que, lorsqu'il est complètement assemblé, le poids de cet élément central est nettement supérieur à celui des anneaux externes (fig. 2).

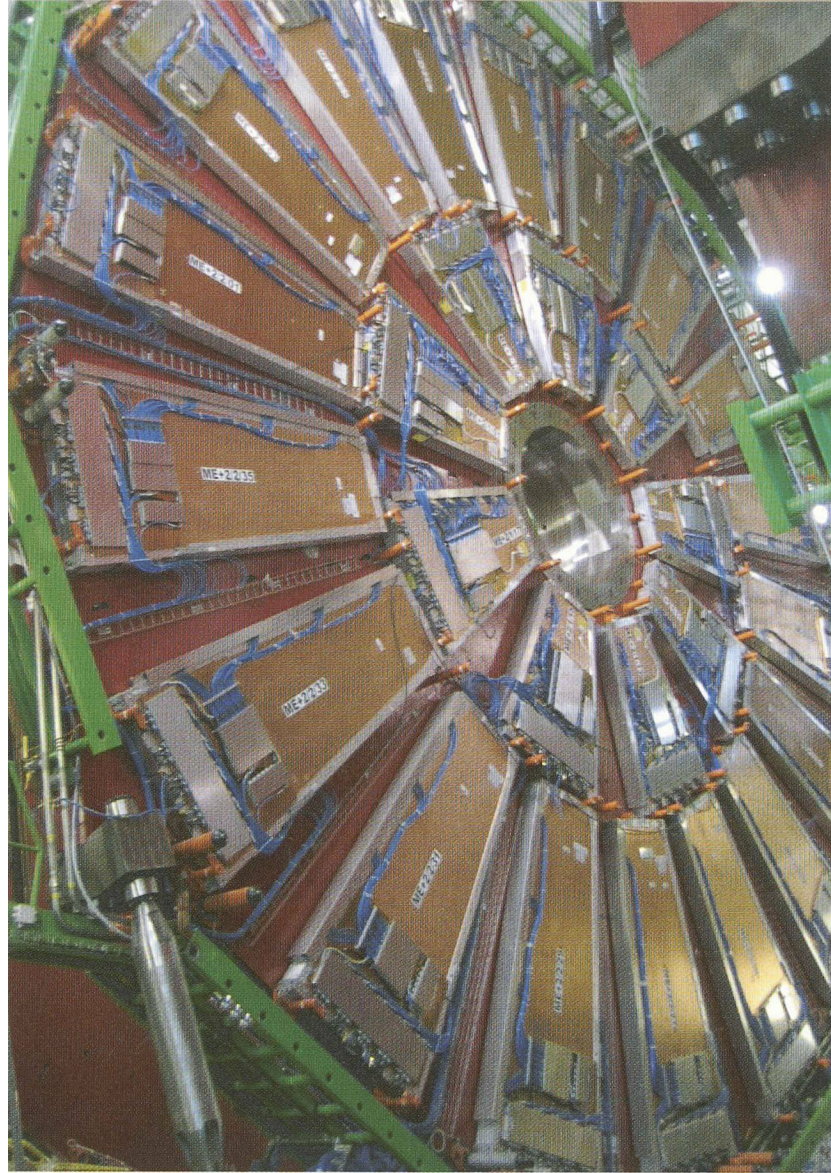
Les trois couches de fer des anneaux du baril ont été montées à l'aide d'un gabarit rotatif de 9,5 m de diamètre, nommé Grande Roue (fig. 3). Les blocs de fer, dont le poids va jusqu'à 41 tonnes, étaient posés alternativement en position neuf heures et trois heures pour éviter de créer un déséquilibre sur l'appareillage de montage. Pour les disques des bouchons, le montage s'est fait à partir des chariots de support en installant alternativement des portions de



2



3



...mieux vaut s'y préparer soigneusement en surface

Le projet CMS a donc opté pour la construction d'une grande halle de surface en communication directe avec le puits d'accès afin de faciliter le transfert final de l'expérience. Haute et large de 24 m pour une longueur de 140 m, cette halle de montage se compose d'une dalle de béton armé allant jusqu'à 2,25 m d'épaisseur, renforcée par des piles en béton de 1 m de diamètre qui s'enfoncent jusqu'à 27 m de profondeur. A son extrémité ouest, se trouve le puits principal desservant la caverne d'expérience située cent mètres sous terre. Tous les éléments lourds du CMS (au total 15) seront descendus par ce puits à l'aide d'un grand portique de 30 m par 30 m (fig. 7 et 8). Pour ce faire, chaque élément sera déplacé individuellement à l'aide des patins à air jusqu'au centre du bouchon qui ferme le puits. D'une masse de 2000 tonnes (fig. 6), ce bouchon de blindage en béton armé de 20 m par 20 m présente une épaisseur de 2,5 m et peut lui-même supporter une charge de 2000 tonnes. Après fixation des pièces d'élingage, chaque élément sera légèrement levé, le bouchon sera ouvert, et chaque élément du détecteur CMS descendu à son tour à une vitesse moyenne d'environ 20 cm par minute. La descente sera effectuée pas à pas à l'aide de moyens hydrauliques. Notons qu'en Europe, il n'existe que cinq compagnies capables d'effectuer de tels levages (ou descentes) spéciaux.

Comme indiqué ci-dessus, le scénario avec montage en surface, puis descente de pièces lourdes a été élaboré dès les phases initiales du projet CMS, en 1990, soit lorsque l'ancien collisionneur LEP était encore en pleine exploitation et le moment de son arrêt (finalement en 2000) non encore connu. Comme la culasse du CMS représente la structure porteuse, sa fabrication et son montage final devaient être planifiés très en amont du reste de la construction. Une halle de surface garantissait donc de pouvoir commencer le montage final à temps, dans de bonnes conditions d'accès, sans perturber l'exploitation (souterraine) du LEP. En même temps, cela découplait complètement le projet CMS de mauvaises surprises toujours possibles lors des grands travaux de génie civil.

Un autre avantage du montage en surface réside dans le dimensionnement optimal de la caverne expérimentale, dont le volume - et donc les coûts - ont pu être minimisés au maximum. La longueur de l'ouvrage permet juste une ouverture des bouchons de 10 m pour la maintenance pendant les six mois de l'année où le collisionneur est à l'arrêt (soit pendant les mois d'hiver où le prix de l'électricité est plus élevé). Quant au pont roulant installé en souterrain, sa capacité a pu être limitée aux vingt tonnes suffisant à la maintenance des sous-détecteurs.

« camembert » de 35 tonnes à droite, puis à gauche (fig. 4). Toutes les sections individuelles du baril et des bouchons sont supportées par des patins à air d'une capacité de 250 ou 385 tonnes, ce qui permet un déplacement aisé de tous les éléments lourds.

Le montage et l'insertion de la masse froide de 250 tonnes du solénoïde à l'intérieur du tank à vide est une opération très délicate qui requiert un outillage lourd et de l'espace. Prévue pour 2005, cette opération a été entièrement répétée en 2002 (fig. 5).

Les études initiales de 1990 ont en effet montré que de telles opérations de montage en souterrain nécessiteraient une zone expérimentale souterraine de très grande dimension. A la lumière des opérations menées pour la mise en place de l'expérience L3 au LEP, on savait en outre que les travaux de montage en souterrain peuvent doubler le temps requis par les mêmes opérations effectuées dans un hall de surface. Un délai principalement dû aux difficultés d'accès, puisque chaque pièce doit être descendue de cent mètres à l'aide d'un pont roulant de surface et que chaque opération de descente peut prendre une heure. De plus, le montage en souterrain se fait nécessairement dans une zone restreinte, ce qui complique la planification et entraîne des mesures de sécurité contraignantes pour éviter les chantiers superposés.

Fig. 4: Un des disques d'un bouchon magnétique de 15 m de diamètre pesant 700 tonnes, déjà équipé de détecteurs de muons

Fig. 5: Test d'insertion du tank à vide interne, simulant la masse froide de la bobine, à l'intérieur du tank à vide externe

Fig. 6: Puits d'accès principal de 20,4 m de diamètre et bouchon de blindage

Fig. 7: Manutention lourde - L'anneau central a été amené au centre du bouchon de blindage en position fermée et élingué au portique de manutention.

Fig. 8: Manutention lourde - Après ouverture du bouchon de blindage, l'anneau central est descendu de 100 mètres, pas à pas jusqu'à la caverne souterraine.

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)

Actuellement, les préparatifs pour le test de l'aimant en surface suivent leur cours : en été 2005, la bobine sera refroidie pour la première fois à -269°C et 20 000 ampères y seront injectés pour produire le champ magnétique nominal. Après ce test crucial, la descente des pièces s'effectuera au rythme d'une par semaine. Ensuite, il restera à effectuer le raccordement par câblage de toutes les sections du détecteur CMS aux baies d'électronique et le branchement aux services.

Un petit mot concernant les coûts. La construction du CMS a démarré officiellement en 1994 et l'acquisition de données pour la recherche en physique est prévue dès 2007 pour une période de quinze ans environ. Des chiffres qui permettent de relativiser les 520 millions de francs suisses budgétisés pour sa construction (à titre de comparaison, cette somme est égale au budget annuel d'une grande écurie de Formule1).

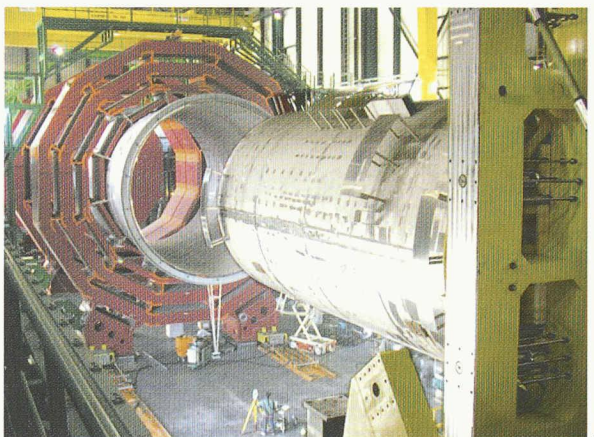
Conclusion

La stratégie choisie par CMS a été payante car l'assemblage du CMS a pu commencer dans la halle de surface dès 1999 et à ce jour le montage est très avancé, alors que la zone expérimentale souterraine ne sera livrée qu'en octobre 2004 pour être utilisable en juillet 2005 après installation de tous les services. Le montage des éléments CMS sera alors quasiment terminé et, une fois l'aimant testé en surface, le transfert des équipements lourds pourra commencer en octobre 2005. Cette dernière étape devant durer cinq mois, le dispositif expérimental sera assurément en place pour le démarrage du collisionneur en 2007. Or pour le CMS, ce calendrier n'aurait pu être tenu si l'on avait opté pour la méthode classique d'assemblage direct en zone souterraine.

Hubert Gerwig, ing. mécanique
Chef du groupe ingénierie mécanique pour CMS

Alain Hervé, ing. mécanique
Coordinateur technique du projet CMS

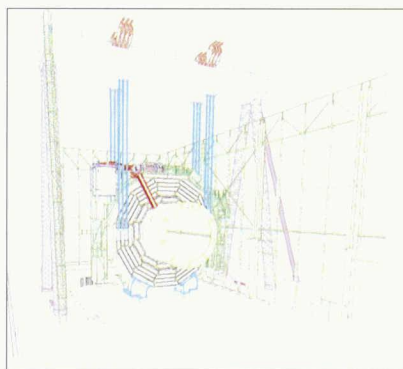
CERN, Département PH, CH - 1211 Genève 23



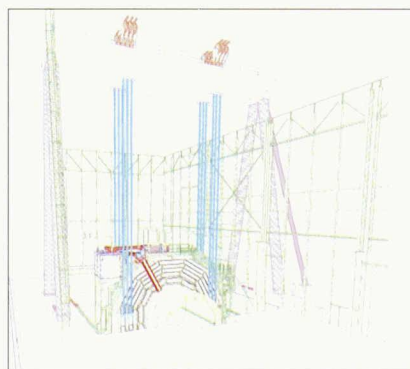
5



6



7



8