

LHC - Point 1: audacieuse conception d'une voûte suspendue

Autor(en): **Guillon, Claude**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **130 (2004)**

Heft 12: **Cern construction du LHC**

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99318>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LHC - Point 1 : audacieuse conception d'une **voûte suspendue**

GÉNIE CIVIL

La construction au point 1 de la grande caverne UX15 (35 m de portée, murs verticaux de 35 m) impliquait le démantèlement de l'accélérateur et la démolition de la galerie du LEP au droit de la nouvelle réalisation. Les chercheurs du CERN souhaitant utiliser ces installations le plus longtemps possible avant leur suppression, le terrassement complet de la caverne UX15 se trouvait relégué à une date très tardive. Or le calendrier général des travaux ne ménageait pas un délai suffisant, après le démantèlement du LEP, pour terrasser l'ensemble de la caverne du haut vers le bas et bétonner du bas vers le haut en terminant par la voûte. Il était impératif de terrasser et bétonner la voûte avant l'arrêt du LEP.

Comment, dès lors, tenir cette voûte de plus de 10 800 tonnes et la poussée du terrain pendant toute la période de terrassement et de bétonnage du stross sur plus de 30 m de hauteur ? Pouvait-on appliquer la solution classique pour de plus petites sections, soit faire reposer la voûte sur le terrain par un élargissement du béton vers l'extérieur (« pattes d'éléphant ») sur tout son pourtour ?

En raison de la présence d'ouvrages adjacents - éléments anciens encore en service (caverne US15, PM15, accès pour le LEP et le LHC) ou nouveaux déjà construits car prioritaires (caverne USA15 et puits PX15) - l'élargissement sur les long-pans n'était pas envisageable. Quant au report du poids total de la voûte sur les seuls frontons, il semblait incompatible avec les caractéristiques de la molasse à ce niveau et la verticalité des futures parois inférieures. La voûte ne pouvant pas s'arc-bouter sur le terrain sous-jacent, il fallait donc la suspendre dans le terrain sus-jacent.

Recherche de solutions

Dans un premier temps, il fut envisagé d'installer dans les deux poutres du futur pont roulant (en long-pans) des tirants ancrés dans un horizon gréseux suffisamment résistant situé 30 m plus haut. Or la très grande longueur et la capacité exceptionnellement élevée des ancrages nécessaires appelaient une solution technique prototype. Cette opération à mener entre les phases de terrassement et de bétonnage des poutres allongeait en outre de façon inacceptable le délai de réalisation de la voûte. Enfin, les accès pour la mise en place et le contrôle permanent des ancrages s'avéraient difficiles pendant toute la phase d'excavation et de bétonnage (fig. 2) du stross. Il fallut donc abandonner cette option.

Après avoir balayé de nombreuses alternatives, les concepteurs s'orientèrent vers une suspension de la voûte par :

- une liaison rigide avec le revêtement définitif des deux puits, particulièrement renforcés à cette occasion (jusqu'à 220 kg/m^3);

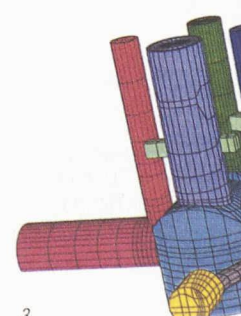
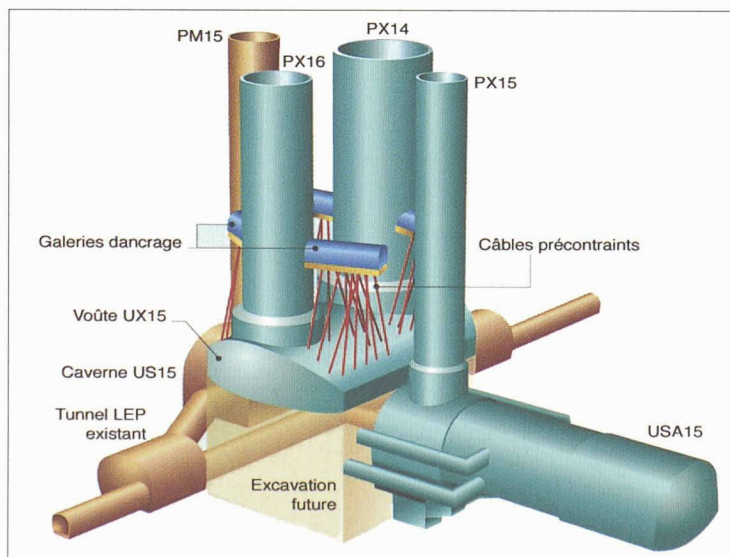


Fig. 1 : Schéma d'Atlas montrant la position des galeries d'ancrage et des câbles
(Source : Tunnels & Tunnelling International April 2002)

Fig. 2 : Bétonnage des murs de la caverne UX15 par levée de 4 mètres

Fig. 3 : Analyse de l'interaction entre ouvrages

Fig. 4 : Etude des conditions de stabilité de la caverne USA15

Fig. 5 : Analyse de la stabilité lors du creusement du stross de la caverne UX15

Fig. 6 : Comparaison des mesures inclinométriques et des calculs pour la caverne USA15
(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)

- trente-huit câbles précontraints Freyssinet T15S (345 t) répartis dans la voûte (épaisseur minimum de béton : 1,3m) et « ancrés » dans le radier de quatre galeries implantées dans une des meilleures couches gréseuses de la molasse.

Ces galeries offraient l'avantage de pouvoir réaliser les forages et la mise en place des câbles en parallèle avec la réalisation de la voûte, d'accéder indépendamment et de façon permanente au réglage de chaque tête de tirant et ce jusqu'au « détensionnement » final (fig. 1).

Les concepteurs ont principalement recouru aux codes de calcul ANSYS et FLAC 3D. L'absence de symétrie, la géométrie compliquée de la structure et l'hétérogénéité de la molasse ont imposé la création de très gros modèles numériques, impliquant des temps de calculs très longs.

Si la réalisation n'appelait pas de techniques très exceptionnelles, la qualité d'exécution assurée par les entrepreneurs a en revanche permis aux concepteurs de valider un concept d'abord jugé audacieux.

Confrontation de la modélisation numérique avec les résultats de l'auscultation

Dans le cadre d'un projet de conception et de construction d'ouvrage souterrain, le premier objectif des simulations est essentiellement qualitatif : il s'agit d'identifier et de comprendre les comportements de l'ouvrage, soit ses modes de rupture et d'effondrement potentiels. En l'occurrence, de nombreuses simulations bidimensionnelles et tridimensionnelles ont été effectuées. Chacune de ces opérations avait une finalité bien précise, comme l'analyse de l'interaction entre ouvrages (fig. 3), l'étude des conditions de stabilité de la caverne USA15 (fig. 4), l'analyse des conditions de stabilité de la voûte de la caverne UX15, ou encore l'analyse des conditions de stabilité durant le creusement du stross de la caverne UX15 (fig. 5).

Associées à des mesures d'auscultation *ad hoc* du comportement des ouvrages, ces modélisations ont permis de justifier et d'optimiser les soutènements (quantité et phasage) au fur et à mesure du déroulement des travaux, en profitant du

retour d'expérience des ouvrages les plus simples pour les plus complexes réalisés après.

Ainsi, la figure 6 compare des mesures par inclinomètres, disposés à 15m environ des reins de la caverne USA15 (portée 22 m), avec les résultats de simulations 2D et 3D. Les figures issues des modélisations représentent les déformations de cisaillement qui se concentrent dans les couches marneuses à faibles caractéristiques mécaniques. Ce type de résultat montre clairement que le comportement de l'ouvrage tend à un glissement et à une convergence des parois de la caverne, accentués par un « piégeage » des contraintes dans le massif entre les couches marneuses.

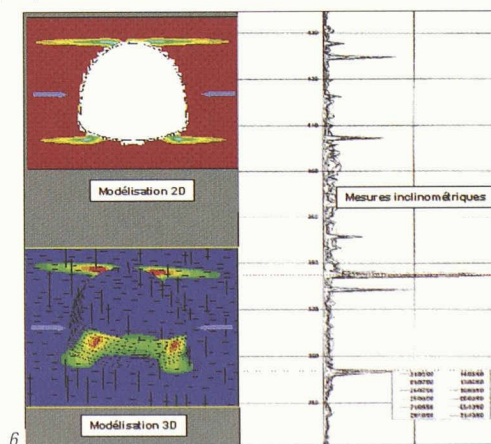
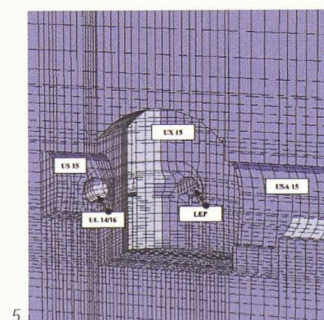
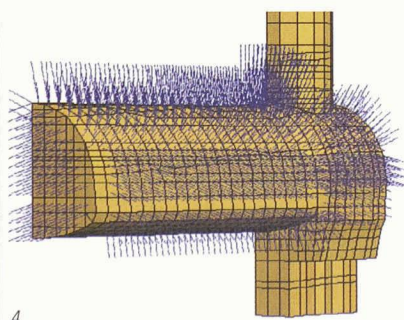
Ces analyses qualitatives débouchent sur des conclusions concrètes en termes de conception. Dans le cas présent, pour un soutènement essentiellement assuré par un boulonnage passif, ces simulations montraient qu'il était essentiel :

- de densifier le boulonnage au droit des couches marneuses disposées à proximité de la voûte et du radier ;
- de mettre en place ce boulonnage localisé aussi vite que possible afin de limiter la dégradation des propriétés mécaniques de ces couches faibles ;

et qu'il était possible :

- de retarder ou de diminuer les soutènements prévus sur les reins de la caverne ;
- d'identifier les phases critiques du creusement vis-à-vis du risque d'effondrement ;
- de définir des mesures d'auscultation représentatives du comportement de l'ouvrage et de se focaliser sur celles-ci en termes de seuil de vigilance ou d'alerte ;
- de proposer au préalable un principe de confortement en cas d'évolution pathologique des mesures d'auscultation.

Sans ces modélisations numériques exceptionnelles et la mise en place d'une importante instrumentation, le défi posé par le soutènement provisoire de la grande caverne UX15 n'aurait pas pu être relevé.



Une organisation basée sur les règles FIDIC

Le succès de la réalisation du point 1 tient en partie au respect, par chaque partie, de sa mission type « FIDIC » distinguant « The Employer or Owner », « The Engineer » et « The Contractor ».

Maître de l'ouvrage: le CERN

Le maître de l'ouvrage¹ a véritablement délégué le pilotage du projet au quotidien à son maître d'œuvre en ce qui concerne la supervision de la qualité, des délais et des coûts, y compris l'analyse des réclamations.

Pour mériter la confiance du maître de l'ouvrage, le maître d'œuvre a mis en place une organisation rigoureuse, incluant un « reporting » écrit mensuel concis et exhaustif et une information orale spontanée à chaque fois qu'un problème le justifiait. Ces rapports étaient assortis de recommandations pour la décision finale du maître de l'ouvrage en matière de modifications de délais partiels contractuels, d'acceptation ou le refus de dérogations, de non-conformités ou de règlements complémentaires.

Le maître de l'ouvrage a su établir un juste équilibre entre la délégation presque complète des pouvoirs au quotidien, un contrôle par sondages de la prestation de son maître d'œuvre et une utilisation raisonnable de son droit de veto pour toutes les décisions finales qui n'allaient pas dans le sens des recommandations de son maître d'œuvre.

Maître d'œuvre: EDF-KP

L'expérience du maître d'œuvre² dans la direction de grands projets et les contrats basés sur le régime FIDIC a favorisé le climat de confiance et la délégation de pouvoir évoqués ci-dessus. EDF-KP a très vite mis en place les outils de communication, de gestion des interfaces et de traitement des litiges - aussi bien en termes de qualité, de délai et de coût, voire parfois d'hygiène et sécurité - par le biais de son plan d'assurance qualité et des procédures détaillées y relatives.

Le succès d'une telle organisation dépend surtout de l'application rigoureuse par le maître d'œuvre de ces procédures vis-à-vis des deux autres parties et dans la démonstration de sa constante impartialité (durant près de six ans de travaux).

Un autre facteur de succès réside dans le fait que le maître d'œuvre était le rédacteur des spécifications des contrats travaux. La seule présence d'exigences dans les contrats n'étant pas suffisante en soi, EDF-KP a en outre insisté sur la qualité dès la première réunion mensuelle et rappelé systématiquement le thème ensuite (premier point de l'ordre du jour).

¹ CERN ST, division Génie Civil

Entrepreneur: CCC

Le groupement d'entreprises³ réunissait à la fois une grande expérience des travaux en souterrain et des terrassements dans la molasse. Il présentait aussi l'avantage - de plus en plus rare - d'employer un très fort pourcentage de personnel spécialisé « maison ». En souterrain, la qualité et la sécurité dépendent en effet étroitement de l'esprit d'équipe et de l'expérience du personnel d'exécution et de son encadrement. Il est indéniable que ces facteurs ont joué un rôle décisif pour la qualité globale du projet au point 1 du LHC.

L'entrepreneur a respecté les exigences contractuelles du système qualité du maître d'œuvre. Après une période de rodage et quelques audits, le bilan était largement positif pour tous. La rédaction d'une procédure d'exécution est un exemple parmi d'autres, dans la mesure où une telle mise au point implique toujours un travail supplémentaire et fastidieux au moment de la préparation d'une nouvelle activité. Pourtant l'entrepreneur convint vite qu'il s'agissait d'un bon moyen pour préparer le travail et garantir la qualité finale avec les délais et les coûts. Tout en restant rigoureux - voire parfois intransigeant - sur ce principe, le maître d'œuvre doit quant à lui savoir se montrer souple sur le délai d'émission ou de modification, et limiter ses observations à des suggestions constructives, ce qui suppose une forte compétence technique de sa part.

Cette expérience a confirmé que la qualité sur un chantier dépendait très fortement des directives données par la direction générale et par la direction du chantier.

Les résultats

Les litiges apparus au cours des six années de travaux - en matière de règlements complémentaires notamment - ont tous été réglés « à l'amiable » entre le maître de l'ouvrage et l'entrepreneur, sous la houlette du maître d'œuvre, et sans recours à la procédure contractuelle de conciliation (procédure et groupe de cinq conciliateurs internationaux spécifiés et acceptés par toutes les parties).

Toutes les réceptions finales d'ouvrages s'étant déroulées sans difficulté, les physiciens disposent aujourd'hui d'un ouvrage de qualité, livré à l'heure et dans le respect du budget initial étudié sept ans auparavant par EDF-KP.

Claude Guitton, ing. civil, Chef de projet
EDF - Centre d'Ingénierie Hydraulique, Savoie Technolac
F - 73373 Le Bourget du Lac Cedex

² Groupement de bureaux d'étude chargé de la conception et de la direction des travaux : *Electricité de France* (France), *Knight Piesold* (Royaume Uni), aujourd'hui *Scott Wilson Piesold*

³ Groupement d'entrepreneurs chargé de l'exécution : *Porr Asdag Tunnelbau* (Autriche), *Baresel* (Allemagne), *Zschokke Locher* (Suisse)