

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 125 (1999)
Heft: 20

Artikel: Essais de pieux pour une nouvelle installation de recherche du CERN
Autor: Annen, Philippe / Métral, André / Sailland, Jean-Charles
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79657>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

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

Essais de pieux pour une nouvelle installation de recherche du CERN

Philippe Annen,
rue E. Marziano 17A
1227 Genève
André Métral,
Zschokke-Locher SA
Ch. I. Anken 10
1219 Aire/Genève
Jean-Charles Sailland,
SGI Ingénierie SA
Av. Louis Casaï 71
1216 Cointrin/Genève

Le CERN, laboratoire européen de physique des particules est l'un des plus grands laboratoires scientifiques du monde. Situé à cheval sur la frontière franco-suisse, juste au pied du Jura, à l'ouest de Genève, il est l'objet actuellement de travaux d'envergure pour la transformation du collisionneur LEP en LHC (pour «Large Hadron Collider» ou *Grand collisionneur de hadrons*).

En 1996, une association de trois bureaux GIBB Ltd (GB), SGI Ingénierie SA (CH) et Geoconsult GmbH (AUT) a remporté le mandat d'études de l'important site d'expériences CMS («Compact Muon Solenoid») du LHC, qui est situé au Point 5 du LHC, sur la commune de Cessy, proche de Gex en France.

Le site d'expériences du Point 5 et le détecteur CMS

Le projet intègre la réalisation de deux immenses cavernes à 100 m sous terre, accessibles par deux puits de 23 m et 12 m de diamètre ainsi que de nombreux bâtiments de surface. Le bâtiment SX5 mesure 141 m de long pour 25 m de large et 25 m de haut et abritera la construction du nouveau détecteur de particules, le détecteur CMS. Précisons qu'une fois assemblé, celui-ci atteint un poids de 14 500 tonnes et que ses éléments pèsent jusqu'à 2500 tonnes pièce. En outre, de nombreux déplacements de ces derniers sont nécessaires au pré-assemblage de l'installation en surface, ultime test avant sa mise en place définitive dans une des cavernes. Chargé des études et de la réalisation des travaux de surface, le bureau SGI Ingénierie SA s'est donc penché avec attention sur l'étude du radier du bâtiment SX5 en raison de l'ordre de grandeur inhabituel des charges qui le sollicitent.

Les pieux du bâtiment SX

La conception des fondations du bâtiment SX est basée sur l'aptitude à transmettre au sol les charges de la charpente métallique équipée d'un pont roulant de 80 tonnes, ainsi que les charges gigantesques liées au poids propre du détecteur, que ce soit sous la forme d'éléments en cours de montage, ou après assemblage en un cylindre compact, mais dans tous les cas sous la forme de charges mobiles sur le sol.

En vue de préciser la portance et la compressibilité des couches supé-

rieures, un essai de charge sur plaque en béton armé carrée de 4,85m de côté a été réalisé, la plaque étant chargée au moyen de blocs en béton de baryte (densité=3,6). Trois paliers de charge ont été prévus, correspondant à des contraintes au sol de 200, 500 et

750 kPa. Or les résultats ont montré que le sol était inapte à reprendre ces charges sans tassements prévisibles importants et l'essai a conduit au choix d'un radier d'une épaisseur de 2,00 m pour supporter le détecteur avec des semelles isolées pour la structure de la halle, l'ensemble étant posé sur 155 pieux forés. Le diamètre de ces derniers varie entre 800, 1000 et 1500 mm, pour des longueurs respectives de 10, 15 et 30 m, les pieux de 1500 mm étant fondés sur la couche d'alluvions anciennes.

Aspect géologiques

Du sous-sol vers la profondeur, on distingue, jusqu'à -22 m, une formation fluvio-glaciée (6) compo-

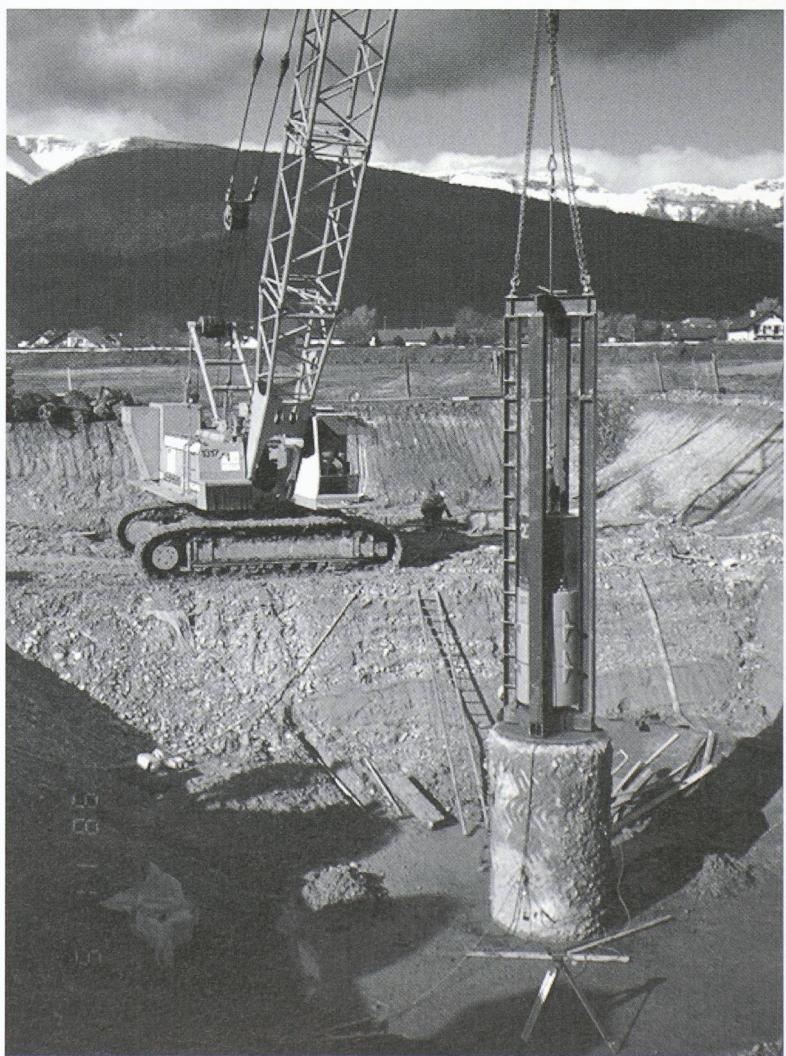


Fig. 1. Essai dynamique PDA sur pieu, diamètre 1500 mm

sée de graviers limoneux puis de graviers sableux, puis de -22 m à -50 m, une moraine wurmienne d'abord limono-argileuse puis graveleuse et, enfin, à partir de -50 m, une molasse très peu perméable reconnue jusqu'à une profondeur de -120 m.

Les essais de portance

Le coût des pieux se montant à plusieurs millions, les spécifications techniques remises à l'entreprise prescrivaient la réalisation préalable de trois pieux d'essais, un par diamètre, dans le but de confirmer les hypothèses de calcul et, le cas échéant, d'apporter une correction au dimensionnement initial. Dans cette optique, deux types d'essais, l'un dynamique et l'autre statique, ont été prescrits.

Essai dynamique

L'essai de charge dynamique PDA («Pile Driving Analyzer») applique la théorie et la technique de mesure basées sur la propagation des ondes de choc dans un corps élastique (le pieu) lié à un milieu élasto-viscoplastique (le sol). Cet essai permet de définir entre autres : la portance du pieu, la relation charge/tassement en sollicitation statique, le frottement le long du fût, la résistance en pointe, l'intégrité du pieu. Très rapide, cet essai consiste à laisser chuter une masse de plusieurs tonnes (mouton) sur la tête de pieu, équipée pour l'occasion de capteurs de déformation et d'accélération, reliés à un ordinateur. Les résultats permettent d'évaluer immédiatement sur le site l'inté-

grité du pieu, puis, après analyse, la courbe statique charge/tassement et la distribution des frottements latéraux le long du fût.

Essai statique

Effectué en vraie grandeur, l'essai statique consiste en la mise en charge axiale d'un pieu *in situ*. Les charges sont appliquées par paliers et selon un cycle convenu de chargement et déchargement, permettant l'application notamment de la charge de service et de la charge de rupture théorique, pendant une durée d'application convenue à l'avance. Cet essai permet d'obtenir directement sur le site la courbe charge/tassement, les tassements étant mesurés par nivellement.

Bien que très différents dans leur mise en œuvre, les deux essais livrent des informations similaires et complémentaires. Au niveau des résultats, des tests de comparaison, indispensables dans le cas de charge de rupture élevée, ont montré une bonne concordance entre les charges de rupture obtenues par des essais statiques et dynamiques.

La structure de réaction pour l'essai statique du pieu

La conception retenue pour cet essai (tirants ancrés dans une selle annulaire entourant le pieu) a permis de réaliser et de mettre en tension les tirants d'ancrage dans des conditions relativement confortables. Les parties métalliques ont été conçues de manière à ce que les assemblages soudés soient comprimés ou cisaillés, tandis que l'assemblage central des éléments radiaux, subissant un état de traction biaxiale, a été réalisé uniquement par boulonnage.

Modélisation statique

Vu l'importance des forces en jeu et la conception inhabituelle du dispositif de mise en charge, il était essentiel de modéliser correctement l'interaction structure-

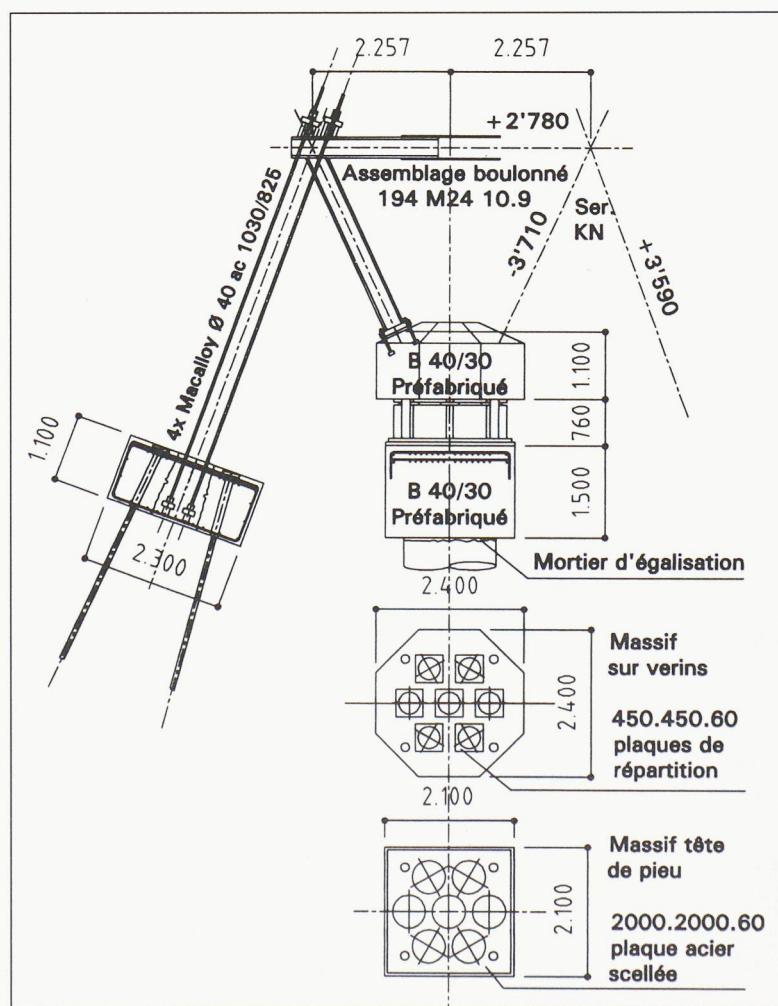


Fig. 2. Structure de réaction pour l'essai statique d'un pieu de 1500 mm de diamètre

vérins. Ainsi, la condition de réalisation de l'essai de pieu avec une charge centrée imposait le couplage des vérins à pression égale et leur positionnement précis par rapport à l'axe du pieu. Selon la direction verticale, l'action des vérins équivalait donc à une force d'une valeur maximale de 27 000 kN le long de l'axe du pieu. Selon la direction horizontale, les vérins ont été assimilés à des appuis (goujons). De plus, les spécifications de l'essai imposaient que la structure de mise en charge puisse imposer au pieu un tassement d'une valeur égale à 15% de son diamètre, soit 225 mm. Si en pratique et vu le contexte géotechnique, on a toujours considéré qu'il serait impossible de provoquer un tel tassement, on s'est placé du côté de la sécurité en dimensionnant la structure de réaction sur la base de ce cas extrême, c'est-à-dire avec des vérins pratiquement poussés en bout de course (280 mm). Dans ce cas, la

rigidité latérale des vérins (effet de goujon) se trouve diminuée. Il s'agissait dès lors de vérifier, d'une part, la stabilité de la structure et, d'autre part, le bon comportement des vérins, notamment vis-à-vis d'un risque de blocage.

Prise en compte d'imperfections

Plusieurs imperfections géométriques ont été prises en compte, soit le décentrage de la semelle annulaire par rapport au corps central de la structure de réaction ou une disposition d'un ou de plusieurs tirants hors du plan du cadre correspondant. Un autre type d'imperfection découlait de l'emploi de tirants de faible rigidité flexionnelle qui prenaient, avant la mise en tension, une flèche sous leur poids propre.

Concrètement ces défauts se sont traduits par une «mise en place» de la structure de réaction essentiellement au début du charge-

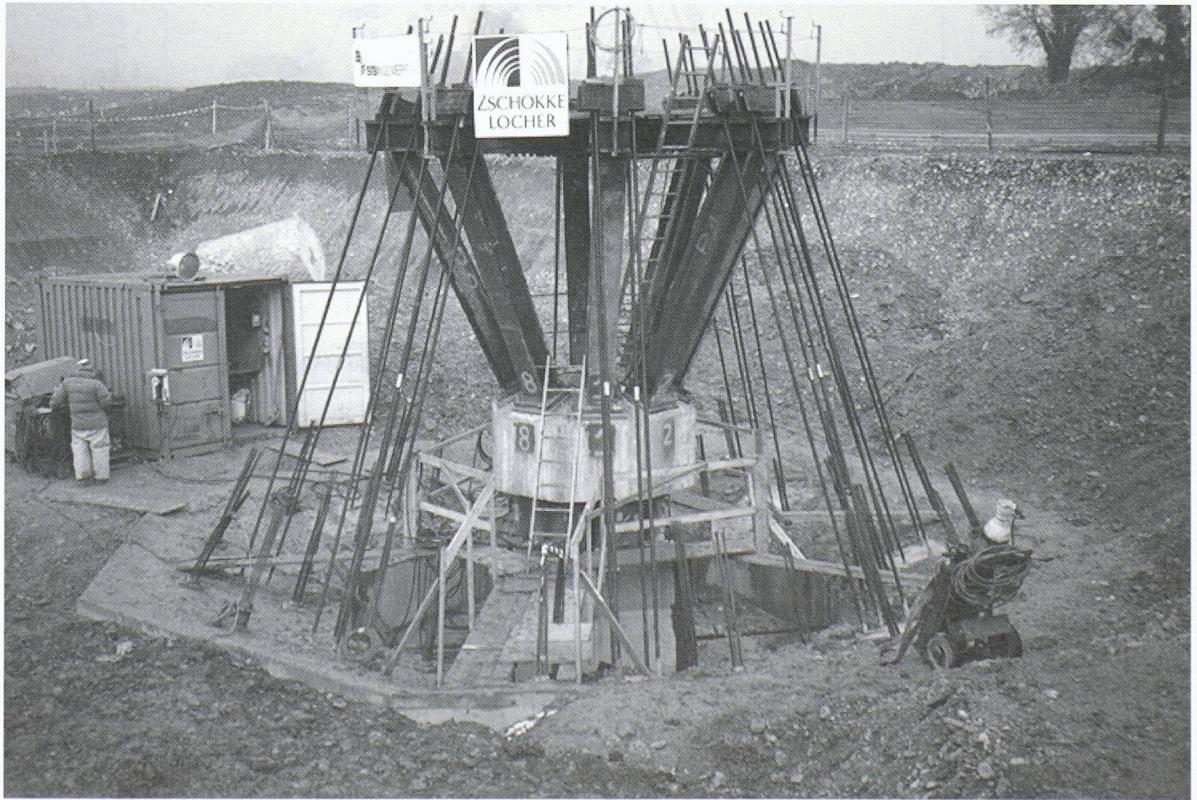
ment se traduisant par un déplacement latéral mesuré au sommet d'environ 10 mm.

Stabilité

Les axes des tirants étant tous concourants en un point, la structure constitue un mécanisme. Si l'on applique la poussée des vérins, ce dernier se stabilise sous l'action des tensions dans les tirants (rigidité géométrique). Afin de se placer du côté de la sécurité, le système intérieur de cadres acier fait donc appel à des nœuds rigides de manière à former un système autostable sans solliciter le corps des vérins.

Massifs d'appui

Réalisés en éléments de béton préfabriqués, les massifs d'appui sont dotés d'une solide armature d'éclatement. Pour le massif sur vérins, les conditions étaient relativement favorables vu la convergence des forces de compression (inclinaison des bêquilles acier).



Comportement de la semelle annulaire

Réceptionnant 32 tirants d'ancrage bloqués à 980 kN pièce, cette semelle de 12,00 m de diamètre comprimait le sol à une contrainte de environ 360 kN/m² après la mise en tension des tirants, avant de se décharger progressivement durant l'essai jusqu'à une compression résiduelle d'environ 60 kN/m² pour la charge maximale de l'essai (27 000 kN). Pour conserver la maîtrise du système, il était impératif que la semelle ne se décolle pas du sol.

Éléments constructifs

Du fait de l'inévitable défaut de parallélisme entre les surfaces des massifs d'appui et des rotations de la structure de réaction, il était indispensable d'équiper les vérins de rotules, qui furent simplement réalisées à l'aide de planches en bois contreplaqué.

Mise en œuvre

Le bétonnage du pieu d'essai et l'exécution de l'essai statique a nécessité 59 jours, soit deux mois de travail. Les principales activités effectuées pendant ce délai ont été le terrassement et le recépage du pieu, la préfabrication des massifs de tête du pieu, la construction et le montage à blanc de la structure, l'exécution de la semelle annulaire (100 m³ de béton armé), le forage puis la ré-injection et la mise en charge de 32 ancrages de 100 tonnes, enfin le montage de la structure et du dispositif de mise en charge, ainsi que la pose et le scellement de 32 barres de traction.

La mise en charge de la semelle fut réalisée en plusieurs passes alternées pour pallier la perte de charge due aux tassements de la semelle et la redistribution consécutive des efforts induits. Un contrôle géométrique des tassements de la semelle a montré des déplacements restreints de l'ordre du centimètre. Une fois la semelle annulaire mise en charge, les vé-

rins positionnés et la structure de réaction montée, les barres de traction Macalloy furent réglées et bétonnées.

Contrôles en cours d'essai.

L'ordre de grandeur des efforts introduits dans le système de réaction a nécessité la mise en œuvre d'un plan de contrôle en cours d'essai. Les contrôles du comportement des 32 ancrages de la semelle annulaire ont été effectués par six cellules de contrôle des forces dans les tirants d'ancrage. De plus, à chaque palier important, un nivelingement de précision fut réalisé sur le pont de la semelle pour détecter d'éventuels soulèvements dissymétriques qui auraient pu engendrer une instabilité du système. Le contrôle du comportement élastique de la structure métallique proprement dite a été obtenu par un nivelingement axial entre le massif sur vérins et le sommet de la structure. Quant à l'inclinaison éventuelle de la structure, elle a également été contrôlée sur quatre points au sommet des barres Macalloy.

Globalement, les cellules de mesure sur les tirants d'ancrage ont montré une perte de charge de l'ordre de 10% et tous les soulèvements ou tassements différentiels sont restés dans l'ordre du cm.

Résultats et interprétation des données d'essai

La mise en charge a été réalisée à l'aide de sept vérins hydrauliques de 400 tonnes de capacité et de 280 mm de course, qui étaient tous connectés pour garantir un équilibre des pressions, tandis que le passage d'un palier de charge à un autre a été opéré à l'aide de l'agrégat hydraulique (pompe électrique). Le système ainsi mis en place a permis d'atteindre une précision de l'ordre de 1,25%. En plus des vérins et de l'agrégat hydraulique, un système électronique de mesure et d'enregistrement a par ailleurs été engagé.

Les spécifications de l'essai prévoient une première mise en

charge en huit paliers pour atteindre 100% S_d soit 19 900 kN, puis une seconde mise en charge en neuf paliers pour atteindre 100% $S_d + 50\% S_{ser}$, soit 27 000 kN. La durée minimale des paliers de charge variait entre 30 et 360 minutes, avec le critère supplémentaire d'une vitesse de tassement inférieure à 25 mm/heure avant le passage à un palier supérieur. Dès le palier de charge atteint, des mesures de charges ont été effectuées à la fréquence suivante : 1, 2, 5, 10, 15, 20 ... minutes, soit toutes les 5 minutes, tandis que la pression était maintenue constante à l'aide d'une pompe manuelle à réglage fin lors de chaque mesure de pression. Cela a permis de maintenir la charge constante dans une plage de ± 1 bar, soit ± 80 kN. Un contrôle complémentaire du maintien des charges était en outre assuré par un système d'alarme acoustique qui pouvait s'enclencher pour des variations de ± 5 bar, soit 400 kN.

Conclusion

Les pieux font partie des rares ouvrages en béton que l'on peut contrôler par une mise en charge réelle, préalablement à leur exécution effective. Les tests *in situ* s'avèrent donc importants, car ils permettent d'optimiser le dimensionnement, ce qui peut représenter une économie intéressante pour le client. Dans le cas présenté, il a en effet été possible de raccourcir la longueur de certains pieux. L'essai dynamique livre des charges théoriques, selon une méthode sophistiquée d'interprétation, alors que l'essai statique, bien que plus onéreux et plus lourd à mettre en œuvre, débouche sur des résultats réels. C'est pourquoi, même si la corrélation entre les deux types d'essai s'est révélée bonne dans notre cas, on ne saurait abandonner sans risque les essais statiques. □