

## BG Ingénieurs Conseils

Contact Michel Capron  
 Address Avenue de Cour, 61  
 1007 Lausanne, Switzerland  
 Phone +41 21 618 14 62  
 Email michel.capron@bg-21.com  
 Website www.bg-21.com



### Le groupe BG...

... est une société d'ingénieurs-conseils active sur le plan international dont l'ambition est d'aider ses clients à bâtir un cadre de vie durable. Ses collaboratrices et collaborateurs constituent une remarquable intelligence collective, capable d'apporter des réponses simples à des problèmes complexes face aux défis du développement de notre planète.

### Un succès de plus de 50 ans

L'histoire du groupe BG commence en 1954, lors de la création de la société d'ingénieurs par Daniel Bonnard et André Gardel, tous deux professeurs à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Aujourd'hui, BG est propriété de ses collaborateurs et ainsi complètement indépendant. Depuis plus de 50 ans, nos clients des secteurs publics et privés témoignent leur confiance dans la grande qualité de nos prestations et la compétence de notre personnel.

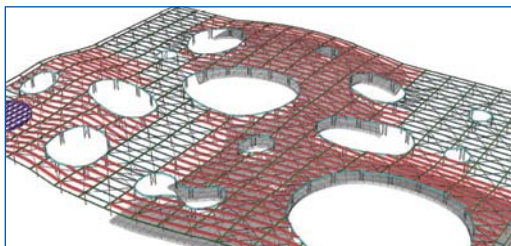
### Des prestations étendues

Le groupe BG est actif dans toute la Suisse ainsi qu'au plan international, principalement en France. Ses 300 collaboratrices et collaborateurs offrent

des prestations très larges dans les domaines des infrastructures et du transport, de l'eau et de l'environnement, ainsi que des bâtiments complexes et de l'énergie. Nous excellons dans l'élaboration de projets complexes, exigeants et multidisciplinaires, dans lesquels nos compétences en gestion de projet, analyse de risque et utilisation optimale des ressources sont déterminantes. En tant que planificateur général, nous assumons la responsabilité de l'ensemble des prestations d'ingénierie, allant de la formulation des besoins à la mise en service en passant par le projet et la réalisation.

### Trois Domaines

Les infrastructures et transports, l'eau et l'environnement et les bâtiments complexes constituent les principaux domaines de compétences de BG. Des domaines qui ont façonné la réputation de BG depuis ses débuts. En complément, BG intègre pour ses clients des compétences spécifiques appliquées à la gestion des risques, l'expertise et l'énergie, mettant en œuvre des moyens physiques et organisationnels de premier ordre.



### Shells of the Rolex Learning Centre

#### Short Description

This project regards the new prestigious building of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL), designed by the Japanese architect office SANAA. The main characteristic of this structure of 160m x 120m is that the floor of the buildings follows the convex shape of the two shells of the project. It is aesthetically really breathtaking. The main challenge of the project was the dimensioning of the extremely slender reinforced concrete shells. Their shape is very irregular, including many patios of large size. Many complex non-linear calculations were carried out with Scia Engineer using a full 3D model: large displacements and 2nd order effects, critical instability modes, construction stages, prestressing and time effects, dynamics and seismic analysis, and, last but not least, stripping by jacks.

#### Project Information

**Owner:** EPFL  
**Architect:** Sanaa Ltd, Japan  
**General Contractor:** Losinger Construction SA  
**Engineering Office:** BG Ingénieurs Conseils

**Construction Start:** 30/09/2007  
**Construction End:** 30/06/2009  
**Location:** Lausanne, Switzerland



Le Rolex Learning Center est le nouvel édifice de prestige à l'entrée de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) conçu par le bureau d'architecture japonais SANAA. La particularité principale de ce complexe de 160m x 120m est que le plancher des locaux suit la forme bombée des deux coques du projet.

En tant qu'expert du projet, la mission de BG a consisté à contrôler et valider les solutions techniques de cet ouvrage exceptionnel.

### Défis statiques et calculs complexes

Le défi principal du projet a été le dimensionnement de ces coques en béton armé présentant des élancements très importants et une forme très irrégulière. Dès l'annonce du choix du projet, de nombreux ingénieurs ont immédiatement manifesté leur scepticisme quant à la faisabilité du projet. De plus, ces coques sont percées de nombreux patios de dimensions importantes. Le système statique de ces coques fonctionne comme une série d'arcs inscrits entre ces patios et sous-tendus par une précontrainte importante disposée dans la dalle sur sous-sol.

La fin du chantier est prévue pour l'été 2009 mais les coques en béton sont déjà décintrées et offrent une vision esthétique exceptionnelle. Les mesures

statiques et dynamiques effectuées sur l'ouvrage ont confirmé les résultats des calculs effectués.

### Modèle 3D complet

Ces coques ont nécessité de nombreux calculs non-linéaires complexes effectués sur un modèle 3D complet avec :

- Coques modélisées en éléments finis d'épaisseurs variables (40 à 80cm)
- Pieds de coques modélisés par des raidisseurs permettant de déterminer les efforts dans les murs, piliers et pieux du sous-sol en fonction des rigidités relatives de tous ces éléments.
- Précontrainte des sous-tirants dans la dalle (câbles type 31T15s)

### Calculs spéciaux effectués avec Scia Engineer

Le logiciel Scia Engineer a été utilisé intensivement dans ce projet hors du commun.

**Stabilité globale des coques.** Modes critiques d'instabilité calculés avec non-linéarités géométriques et en tenant compte d'une réduction de la rigidité dans les zones fissurées.

**Armature importante :** dimensionnement aux ELU et ELS (limitation des contraintes, de la fissuration et

des effets différés). Taux d'armatures très importants allant jusqu'à 470 kg/m<sup>3</sup> avec l'utilisation de barres de diamètre 50mm manchonnées par soudures.

**Influence des étapes de construction** : comportement réel obtenu par superposition de modèles 3D successifs correspondant aux étapes de construction, incluant les étapes de bétonnage, de mise en précontrainte, de décintrage, jusqu'au comportement à long terme.

**Charpente métallique** : La toiture en charpente métallique a été intégrée dans le modèle 3D de manière à lui imposer automatiquement les déformations différées de la coque en béton sur laquelle elle est posée.

D'apparence simple, cette charpente se comporte en réalité comme une éponge souple difficile à raidir et à contreventer par rapport à la déformation de la coque, aux variations de température et aux pressions de vent complexes causées par les ondulations et les patios intérieurs.

**Dynamique-sismique** : Le comportement dynamique des coques a été contrôlé par des mesures de vibrations effectuées sur place. La mesure des fréquences propres a permis de confirmer les valeurs calculées et de déterminer la rigidité équivalente de ce béton fortement armé.

Le modèle 3D complet a également permis de procéder à une analyse sismique spectrale complète de l'ouvrage.

**Décintrage** : Le décintrage des coques constituait une des opérations les plus délicates du chantier. L'opération a consisté à remplacer les 4400 pieds des tourelles de coffrage par une cinquantaine de vérins plats disposés au pied de colonnes métalliques provisoires et à décintrer la coque en pilotant la descente simultanée de ces 50 vérins. Le modèle de calcul 3D a permis d'optimiser le nombre et la position de ces vérins. Grâce à cette procédure, le décintrage s'est effectué en douceur dans un temps record. Les déformations mesurées durant les différentes phases de l'opération ont été conformes aux calculs.

