

Un bâtiment industriel multi-étages

Autor(en): **Guscetti, Gabriele**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 08: **Fondations d'horloger**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99200>

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.

Un bâtiment industriel multi-étages

Dans le cadre de sa nouvelle stratégie de réorganisation des activités et des flux de production, l'important groupe horloger suisse *Rolex SA* réalise une nouvelle usine dans la zone industrielle de Plan-les-Ouates à Genève (fig. 1).

Projeté par l'atelier d'architecture Brodbeck-Roulet à Genève, le bâtiment intègre harmonieusement les multiples exigences du maître de l'ouvrage dans la complexe problématique d'une construction industrielle multi-étages. Son concept architectural, le choix des matériaux, ainsi que son image traduisent la haute technicité de l'activité qu'il accueillera.

Cette réalisation, qui a débuté en septembre 2001 et sera mise en service à la fin 2004, présente des caractéristiques dimensionnelles impressionnantes :

- un volume construit de 660 700 m³ (270 500 m³ en sous-sol et 390 200 m³ hors-sol);
- une surface totale de plancher de 157 300 m² (64 800 m² en sous-sol et 92 500 m² hors-sol);
- cinq niveaux en sous-sol et six étages hors-sol pour une hauteur totale de 49 m (17,2 m en sous-sol et 31,8 m hors-sol).

L'ensemble se compose de six modules (30 m x 62,5 m) répartis le long d'un corps central (6,3 m de large et 130 m de long) constituant l'axe principal de circulation horizontale et de distribution verticale (ascenseurs et monte-charges). Entre ces modules espacés de 20 m, des surfaces accueillent les quais de livraison. En sous-sol, une surface de 22 600 m² permet d'accueillir de grandes zones de stockage ainsi que quatre niveaux de parking d'une capacité de 725 places.

De hautes exigences

Pour sa nouvelle usine, le maître de l'ouvrage a défini des exigences élevées à plusieurs niveaux :

- bâtiment de haute qualité architecturale (fonctionnalités, qualité des espaces et des matériaux, conditions optimales de travail);
- programme des activités de production complexe et diver-

sifié (hautes technologies, automatisation des processus, sécurité);

- polyvalence et souplesse des espaces et des équipements (facilité d'exploitation, adaptabilité aux mutations et évolutions des méthodes de production);
- maîtrise des délais de réalisation qui doivent parfaitement s'accorder à la planification générale de la réorganisation du groupe.

Ce cahier des charges a fortement conditionné l'organisation générale du projet ainsi que les solutions architecturales et d'ingénierie retenues.

L'organisation du projet

Pour des réalisations de cette envergure, le respect des objectifs passe avant tout par une organisation claire et efficace du projet permettant de préparer et coordonner les prises de décision indispensables à l'avancement des études et des travaux. L'organisation générale du projet a donc été confiée à un comité pluridisciplinaire, composé de trois délégués du maître de l'ouvrage, qui fut chargé de structurer l'ex-

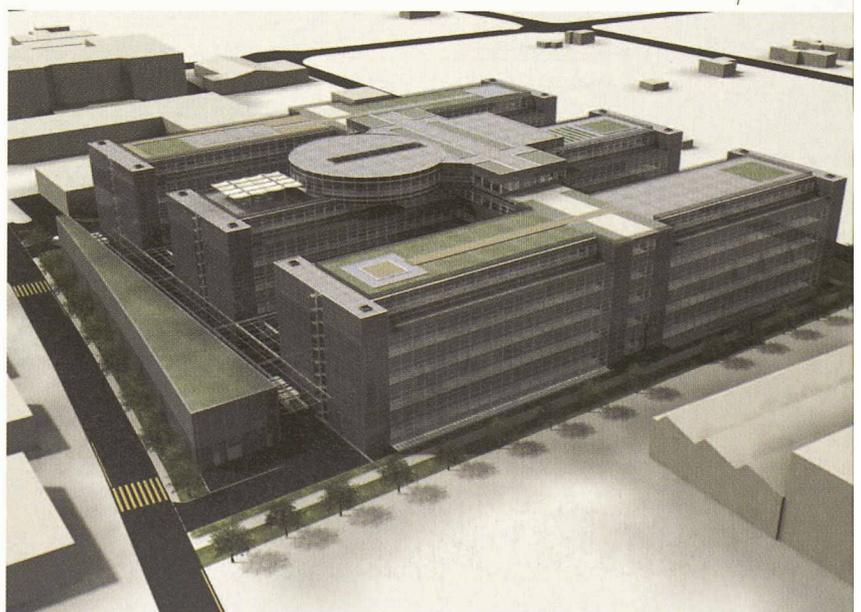


Fig. 1 : Image de synthèse du bâtiment (Document Zschokke Infographie)

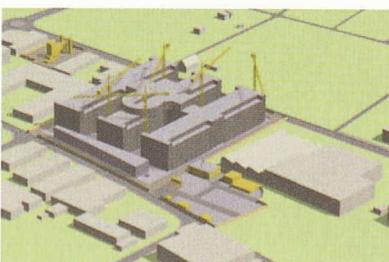
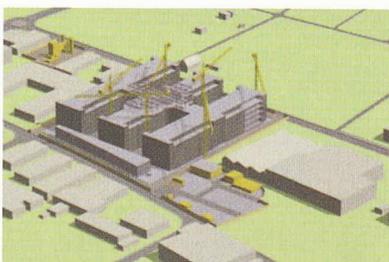
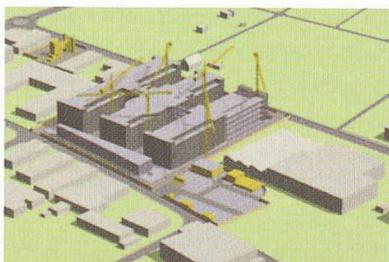
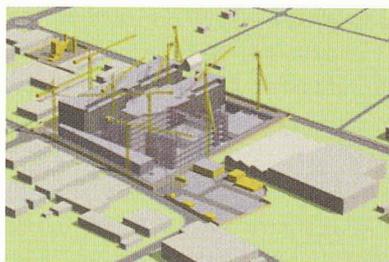
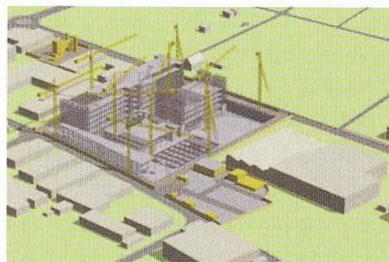
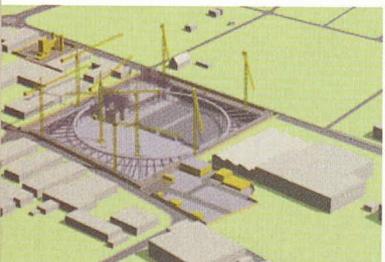
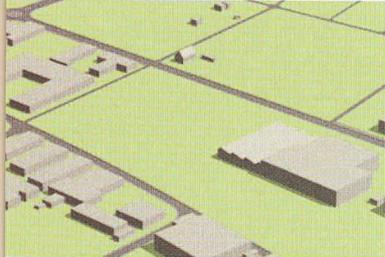
Fig. 2 : Planification par images de l'avancement des travaux

Fig. 3 : Organigramme général du projet

Fig. 4 : Organigramme de l'ingénieur civil

Fig. 5 : Etayage et paroi moulée après terrassement (Photo Luc Buscarlet)

2



pression des besoins du maître de l'ouvrage et des futurs utilisateurs et de faire la synthèse entre les exigences qui en résultent et le projet des mandataires architectes et ingénieurs (fig. 3).

L'intensité du travail à effectuer et les difficultés techniques ont également imposé une organisation particulière du mandat de l'ingénieur civil que le maître d'ouvrage a confié à un seul bureau responsable, Guscetti & Tournier, qui s'est entouré de plusieurs partenaires afin de garantir les ressources et les compétences nécessaires (fig. 4). Composée de quelque vingt-cinq personnes (ingénieurs, techniciens et dessinateurs), cette équipe devait adopter un fonctionnement dynamique et performant. La confrontation ouverte et permanente des idées au sein du groupe a largement contribué à la mise au point d'un projet de qualité et à sa réalisation conformément aux objectifs fixés.

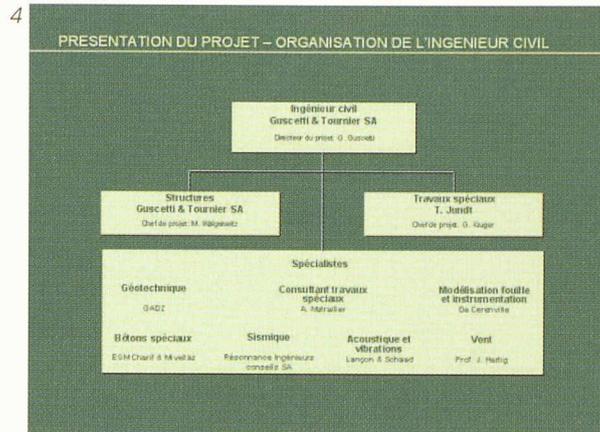
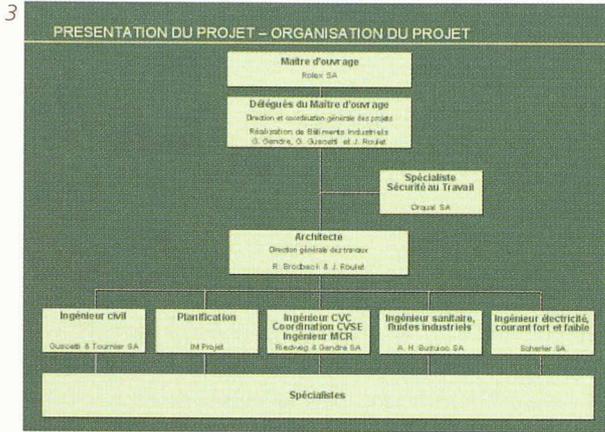
Dès les premières phases des études, un planning détaillé a été élaboré et régulièrement adapté aux évolutions du projet, une base qui a été systématiquement utilisée comme critère d'évaluation des variantes et options possibles.

La problématique de la définition précise des méthodes de réalisation et de l'enchaînement des opérations sur le chantier a été résolue par des mises en soumission anticipées, qui ont ouvert des discussions approfondies avec les entreprises dès la phase d'adjudication. Cette méthode permet également une préparation optimale de l'exécution avec l'entreprise finalement retenue. Durant une période d'environ six mois précédant l'ouverture du chantier, l'essentiel des aspects techniques, de logistique et de planification a été réglé dans le but de minimiser les risques liés à l'exécution.

La conception générale des structures porteuses

La conception du bâtiment, et en particulier celle des structures porteuses, a été fortement influencée par plusieurs paramètres déterminants :

- le projet architectural, soit la modularité, la recherche d'éclairage naturel en façade et dans les sous-sols, l'organisation et la qualité des espaces, le programme multifonctionnel du bâtiment ;



- les dimensions importantes de la construction tant en volumétrie qu'en surface, hauteur d'étage et portées libres entre porteurs;
- l'ampleur exceptionnelle de la fouille (fig. 5);
- la planification générale imposant des délais de construction extrêmement courts - la durée de réalisation de l'excavation (environ 300 000 m³) et des structures porteuses (environ 660 000 m³) se réduit à vingt-quatre mois;
- les exigences d'exploitation, qui prévoient des charges utiles importantes ainsi que des actions à caractère dynamique et des appareils sensibles aux vibrations;
- la densité des installations techniques du bâtiment et des équipements de production, leur facilité d'exploitation et leur souplesse d'évolution dans le temps;
- l'intégration d'un système de stockage et de distribution automatique des pièces en production;
- les conditions géotechniques particulièrement défavorables dues à la présence de formations fines supra glaciaires de retrait würmien, constituées d'argiles et de limons argileux mous, saturées d'eau et compressibles (situé à une profondeur de 40 m, le niveau du cailloutis morainique ne pouvait être atteint par un système de fondations profondes vu l'existence d'une nappe phréatique captive exploitée pour l'alimentation en eau potable du canton de Genève).

L'ensemble de la construction repose sur un radier général d'épaisseur quasi constante de 1 m permettant le report des

charges du bâtiment au sol de fondation compressible et de faible portance. Dans les zones de stockage en sous-sol, la hauteur libre d'étage est de 12 m et correspond à la profondeur de l'excavation générale. A cette particularité, s'ajoutent différentes discontinuités en plan (puits de lumière) et en coupe (dénivelées de la dalle du rez-de-chaussée) excluant un appui de la paroi d'enceinte sur des dalles intermédiaires. Nous avons donc opté pour un système d'enceinte de fouille en parois moulées très rigide, capable de se tenir uniquement par la butée contre le radier et l'encastrement de la fiche dans le sol. Une fois la plaque du radier complétée, cette conception libère totalement la fouille et permet donc une réalisation extrêmement rapide des structures des bâtiments.

Parmi les multiples réponses apportées aux exigences et contraintes complexes de ce projet, trois éléments du concept des structures porteuses ressortent tout particulièrement :

- les structures porteuses des planchers des ateliers,
- le système de stabilisation aux actions horizontales,
- le système de blindage de la fouille.

Les deux premiers se caractérisent par la volonté d'une intégration harmonieuse des structures dans le projet architectural, notamment en ce qui concerne les nécessités propres à une construction industrielle de haute technicité. Les choix constructifs et de méthodes de réalisation font également partie intégrante de la réflexion conceptuelle dans le but d'optimiser les temps de mise en œuvre. Les solutions retenues font largement appel aux méthodes de préfabrica-

5

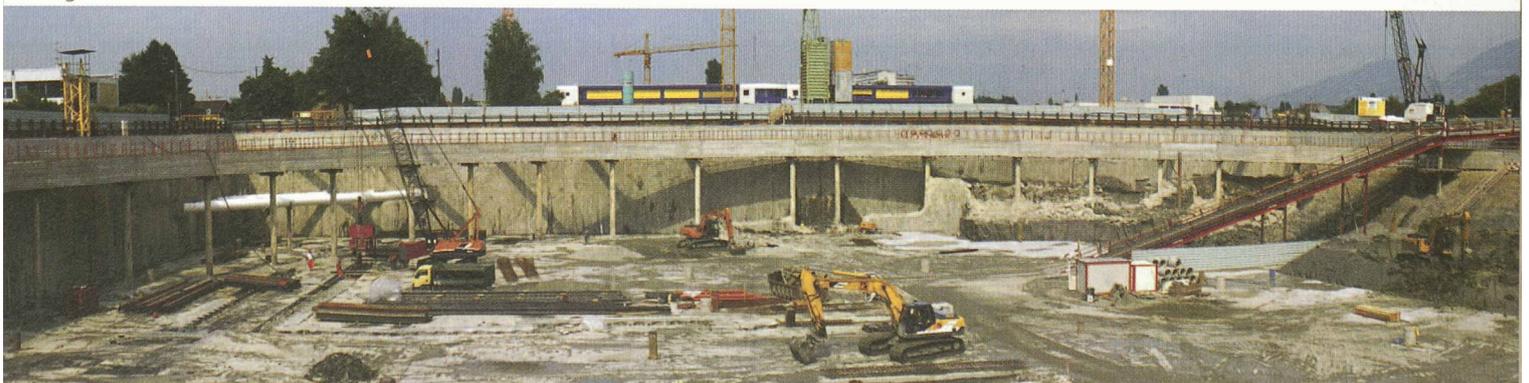


Fig. 6 : Coupe longitudinale du bâtiment

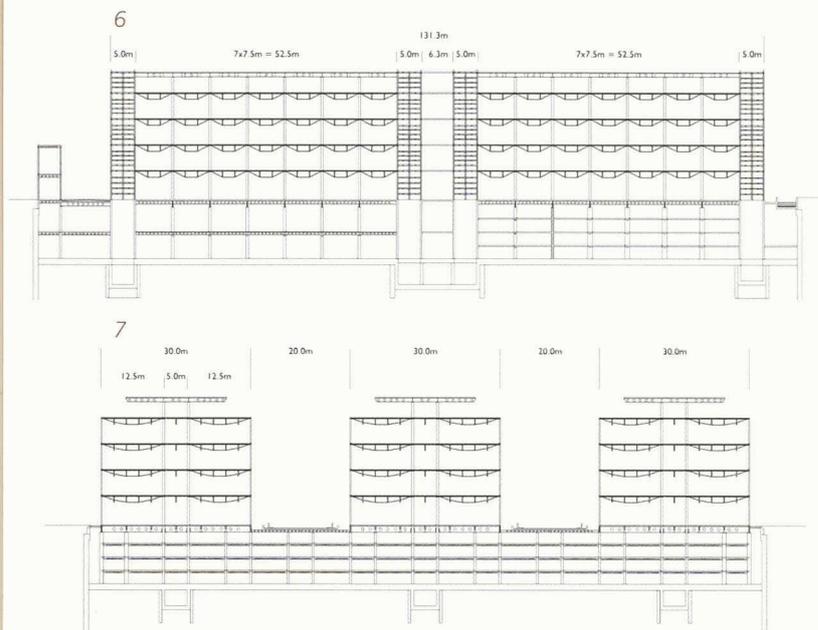
Fig. 7 : Coupe transversale du bâtiment

Fig. 8 : Concept du système porteur

Fig. 9 : Image de la poutre à sous-tirant

Fig. 10 : Coupe type du plancher

Fig. 11 : Structures métalliques des planchers avant la pose des prédalles (Photo Luc Buscarlet)



tion en béton et en acier, qui exploitent au mieux l'effet de série tout en pouvant admettre - vu les quantités en jeu - une certaine complexité.

Le troisième élément se démarque par le caractère exceptionnel de la fouille et l'objectif d'affranchir au maximum le bâtiment des contraintes habituelles d'une telle excavation - pour garantir en particulier la rapidité et la souplesse d'avancement des travaux de terrassement, dans un premier temps, et des opérations de construction par la suite - l'effet d'échelle entraînant des difficultés supplémentaires pour la maîtrise des problèmes de tassement autour de la fouille et de gonflement à l'intérieur de l'excavation. C'est finalement une variante de l'entreprise *SPIE FONDATIONS* qui a emporté l'adhésion par sa logique conceptuelle, tant au niveau de son efficacité par rapport aux contraintes géotechniques que par sa capacité d'adaptation à l'avancement des travaux du gros œuvre. La mise au point de cette variante a nécessité un

important travail entre l'équipe des ingénieurs et le bureau technique de l'entreprise, l'intensité et la qualité de l'échange s'avérant déterminants pour la réussite de cette solution novatrice, astucieuse et particulièrement élégante (voir à ce sujet les articles suivants).

Les structures porteuses des planchers des ateliers

Interprétation structurale des exigences

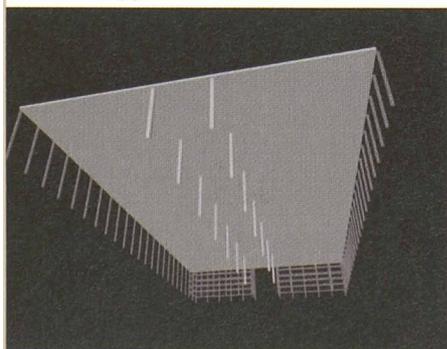
Les exigences de flexibilité et de souplesse d'utilisation des surfaces d'atelier imposent le choix de grands espaces libres de tout pilier (fig. 6 et 7).

L'ensemble des techniques du bâtiment et d'exploitation (chauffage, ventilation, climatisation, électricité et fluides techniques) ainsi que le système de distribution automatique de la production sont situés au plafond. Ces installations sont très denses et occupent la quasi-totalité de la surface des plafonds dans une couche d'environ 1,1 m de hauteur. Leur distribution et fixation exigent une surface plane et une perméabilité maximale des éléments porteurs. Elles doivent de surcroît être facilement adaptables à l'évolution des moyens de production.

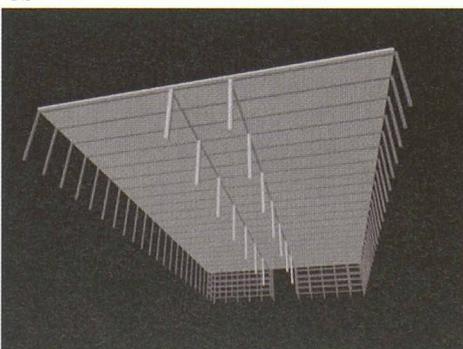
Bien que les composants destinés à être fabriqués dans ce bâtiment ne pèsent que quelques dizaines de grammes, les charges utiles à prévoir sont importantes: les machines automatiques qui les produisent peuvent en effet peser plus de 5 t. La charge utile admise est donc de 10 kN/m², auxquels s'ajoutent une importante charge concentrée (essieu de 2 x 85 kN) équivalant aux équipements nécessaires à la manutention de ces machines.

La finition supérieure de la dalle brute doit être de haute qualité, tant du point de vue de la planéité que de l'état de fissuration: au final, elle est en effet destinée à recevoir un revêtement lisse sous la forme d'une mince couche de résine synthétique semi-rigide.

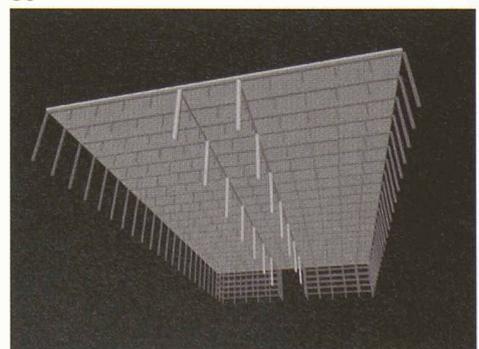
8a



8b

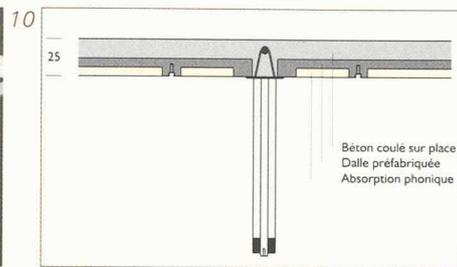
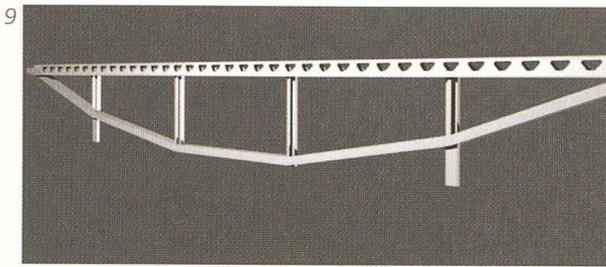


8c



8d





Aux exigences techniques s'ajoute une contrainte architecturale importante liée au gabarit légal de construction qui, compte tenu du nombre d'étages et des hauteurs libres d'atelier, oblige à optimiser l'épaisseur des structures porteuses des planchers. Au total, ce sont quelque 38 000 m² de planchers qui doivent répondre à toutes ces exigences et qui conditionnent la conception d'une structure porteuse particulière.

Le concept du système porteur

Après analyse de l'ensemble des critères énumérés, nous avons conçu un système porteur mixte acier-béton, composé d'une poutre métallique sous-tendue, d'éléments de dalles préfabriquées en béton et d'une couche de béton coulé sur place selon le schéma conceptuel suivant :

- une surface plate est réservée pour faciliter la distribution des installations techniques : en façade, des porteurs intègrent les éléments de l'enveloppe selon le module architectural de base de 2,5 m, tandis que des porteurs intermédiaires du couloir central espacés de 5 m ménagent une portée libre de 2 x 12,5 m dans les ateliers (fig. 8a) ;
- un réseau de poutres métalliques intégrées à l'épaisseur de la dalle en béton armé (*slim floor*) définit le système porteur transversal et longitudinal (fig. 8b) ;
- des montants verticaux, qui permettent également la fixation des éléments techniques et de finition du plafond, sont distribués selon le module de 2,5 m (fig. 8c) ;
- deux réseaux de sous-tirants disposés dans la trame des montants assurent à la structure sa capacité portante et sa rigidité (fig. 8d) ;
- une absorption phonique intégrée aux dalles préfabriquées garantit le confort acoustique des ateliers configurés en « space » (fig. 8e) ;
- la grande perméabilité des structures permet une distribution optimale des installations techniques (fig. 8f).

Ce concept donne lieu à un ensemble systématique où les éléments porteurs, les installations techniques et les éléments

du second œuvre se retrouvent étroitement liés dans l'objectif commun d'offrir une grande liberté d'adaptation.

La méthode de construction est très rapide: elle permet la réalisation d'un étage complet d'ateliers (1575 m²) en quinze jours et, en alternant la pose des fermes métalliques et des dalles préfabriquées sur deux plateaux, on obtient un avancement global d'un étage par semaine.

Les éléments ainsi assemblés sont finis et prêts à recevoir les éléments à fixer au plafond (installations techniques, éclairage, faux-plafond).

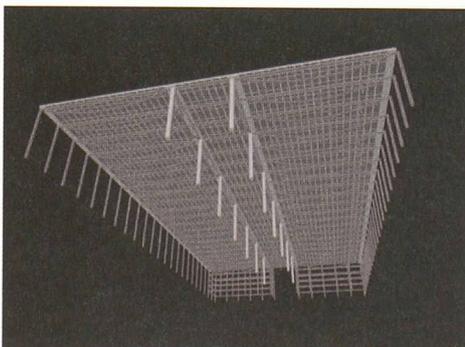
Description du système à sous-tirant

Afin d'optimiser les temps de réalisation, le système porteur à sous-tirant, conçu sous la forme de fermes métalliques (fig. 11) n'exige aucun système d'étaisage lors des phases de réalisation des planchers.

Le système à sous-tirant comporte une membrure supérieure en composé soudé, noyée dans l'épaisseur de la dalle en béton armé (*slim floor*). Sa section triangulaire garantit la rigidité flexionnelle et la torsion nécessaires dans les différentes phases de réalisation et d'exploitation. Les ouvertures latérales dans les âmes permettent au béton de pénétrer à l'intérieur de la poutre, afin d'obtenir un état optimal de monolithisme de la section mixte acier-béton (fig. 8 et 9). Le tirant de la ferme est formé d'un couple de barres en acier plein de 50 mm par 120 mm, découpées dans des tôles fortes par oxycoupage selon un principe prédéfini d'optimisation de la matière. Le tirant suit la forme du polygone funiculaire pour des charges uniformément réparties (parabole discrétisée). L'épaisseur de 0,19 m de la dalle assure la reprise des charges concentrées ou asymétriques avec également la participation de la membrure métallique intégrée.

Les poutres principales d'une portée de 12,5 m et espacées de 2,5 m s'appuient, entre les piliers du couloir, sur des sommiers conçus selon le même principe. Ces derniers offrent une portée de 7,5 m.

8e



8f

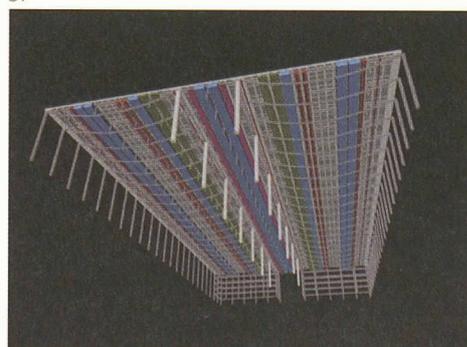


Fig. 12 : Un élément de pré-dalle. On distingue les éléments accoustiques et les rails de fixation (Photo Luc Buscarlet)

Fig. 13 : Spectre de réponse élastique

Fig. 14 : Spectre de dimensionnement

Fig. 15 : Vue en plan des noyaux de stabilisation

Au-delà des impératifs techniques et du calendrier, la rationalisation et l'optimisation du système constructif et des matériaux employés deviennent une nécessité prioritaire en raison des quantités en jeu. Il s'agit en effet de réaliser 960 fermes principales, 336 sommiers et 480 poutres secondaires du couloir, qui représentent une quantité totale de 3115 tonnes, soit 80 kg/m².

Le système conçu présente plusieurs particularités intéressantes qui ont nécessité une approche et des vérifications spécifiques.

Le comportement mixte

Une fois les composantes assemblées (ferme métallique, dalles préfabriquées et béton coulé sur place) et après durcissement du béton, la section devient homogène et le comportement mixte peut se développer à condition que l'adhérence entre l'acier et le béton soit effective. Le système accroît ainsi fortement sa rigidité, qui devient cinq fois supérieure à celle de la ferme métallique seule.

Pour des raisons constructives, la connexion à l'interface acier - béton n'a pas pu être réalisée avec des goujons et l'adhérence indispensable au comportement mixte du système longitudinal est assurée par une barre d'armature soudée à l'extrémité supérieure de la membrure métallique. A son extrémité, la membrure métallique doit être capable de reprendre l'intégralité de l'effort de compression qui se dif-

fuse progressivement au béton. Quant aux ouvertures latérales dans les âmes, elles contribuent à la création d'un état de rugosité par développement de bielles de compression sur l'épaisseur de la tôle de l'âme dans l'angle supérieur de la découpe.

L'analyse dynamique

Compte tenu des grandes portées libres, le critère déterminant pour l'aptitude au fonctionnement des dalles d'atelier est celui des vibrations, lesquelles peuvent être provoquées par des équipements générant des oscillations continues (machines tournantes) ou transitoires (chocs provoqués par les presses d'étampage ou par des mouvements de personnes).

L'ensemble de cette problématique est très complexe et ne possède pas de solution unique adaptée à tous les cas qui peuvent se présenter. Il est en outre difficile de fixer des valeurs en termes de vitesse de déplacement ou d'accélération. Le critère finalement retenu est celui d'une fréquence fondamentale des dalles supérieure à 7,5 Hz en présence d'une charge utile d'exploitation de 5 kN/m².

Ce critère est basé sur l'expérience qui montre, d'une part, que la mise en résonance par un homme d'une structure dont la fréquence fondamentale est supérieure à 7 Hz est hautement improbable et, d'autre part, que cette limite permet d'isoler des appareils sensibles aux vibrations.

Pour éviter des difficultés majeures, voire l'impossibilité de faire fonctionner certaines machines particulières, nous avons prévu au rez-de-chaussée des zones plus rigides avec des fréquences de 10 Hz et de 15 Hz.

La fissuration

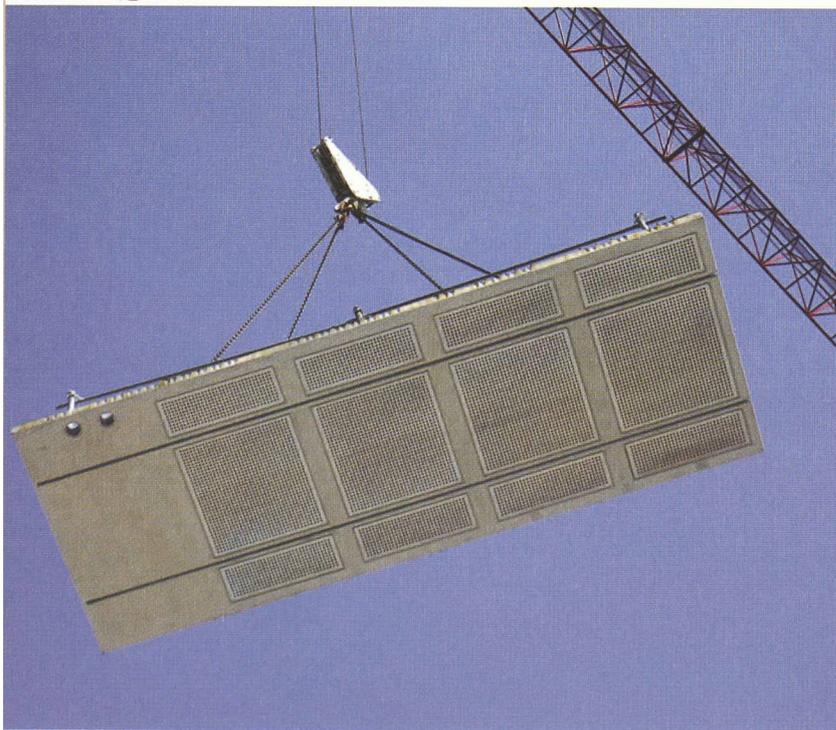
Composé d'une poutre métallique intégrée au béton, le système de la dalle présente des risques d'apparition de fissures, concentrées au niveau de discontinuités géométriques et matérielles, que l'on rencontre au niveau de l'insertion de la poutre dans la dalle ou dans les zones caractérisées par d'importantes variations de rigidité (zone couloir).

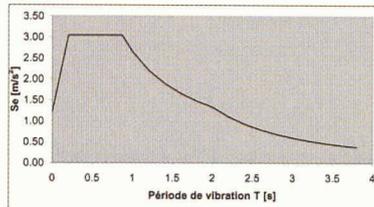
La présence de la pré-dalle (fig. 12), bien que favorable à une distribution de la fissuration, complique l'approche du phénomène. Une simulation numérique a permis de tester les dispositions constructives, la quantité d'armature passive ainsi que la composition technologique du béton coulé sur place.

Il est apparu qu'il était extrêmement important de concentrer une armature importante sur deux nappes au-dessus et à travers l'ajourage de la poutre.

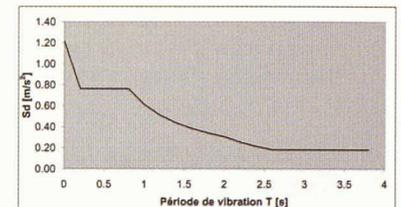
La composition du béton vise quant à elle un faible dégagement de chaleur d'hydratation (minimisation du retrait

12





13



14

thermique) par un dosage réduit de ciment complété par des cendres volantes. La formulation précise de la recette devait également tenir compte du fait que le béton doit être pompé sur des distances importantes et que le talochage doit pouvoir s'effectuer dans de bonnes conditions afin d'obtenir la planéité exigée.

Le système de stabilisation aux actions horizontales

La stabilisation de bâtiments aux actions horizontales dues au vent et aux séismes fait souvent appel aux noyaux constitués des cages d'ascenseurs et d'escaliers et/ou à des murs porteurs. Dans ce projet, les ascenseurs et monte-charges sont localisés dans le couloir central, déportés par rapport aux modules des bâtiments et donc peu favorables à la reprise d'efforts de stabilisation. Les éléments les mieux adaptés sont constitués par les noyaux techniques qui forment, dans chaque module, quatre tubes de 5 m par 12,5 m pour une hauteur maximale de 32 m. Le contreventement de la structure est donc constitué de vingt-quatre noyaux (fig. 15). Ceux-ci font appel à deux types de matériaux : le béton armé au sous sol et l'acier dans les étages.

Les parties métalliques forment une structure à nœuds rigides de type « poutre vierendeel »¹ qui constitue un multicadre non tenu latéralement, avec un système à barres hautement hyperstatique. Cette structure en grille présente une grande perméabilité aux passages des réseaux techniques et s'adapte facilement à l'emplacement de portes et ouvertures. Les choix constructifs permettent en outre un gain de temps important lors du montage par rapport à une solution classique de noyau en béton armé.

La souplesse et la complexité du système structurel multicadres a demandé une attention particulière quant à la définition des actions du vent et du séisme ainsi qu'à la méthode de vérification et à sa modélisation numérique.

Le séisme

Le dimensionnement sismique a été étudié en tenant compte non seulement des caractéristiques propres à la structure porteuse du bâtiment, mais également de la situation géologique locale caractérisée par la présence d'une importante couche d'argile. Celle-ci peut induire un effet de site plus défavorable que les valeurs normalement admises par la norme SIA 160 ou par le futur *Swisscode* SIA 261.

Influence du site

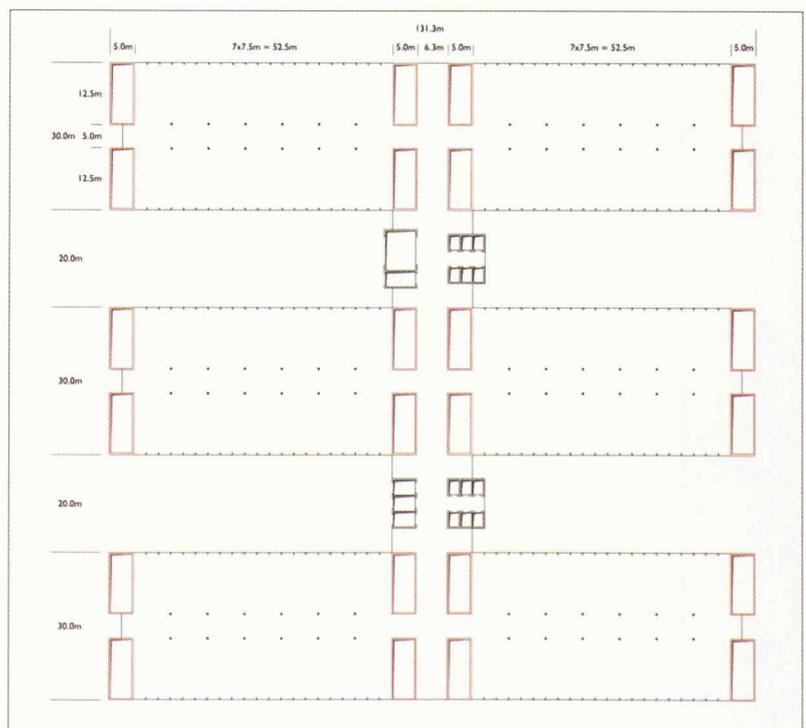
L'intensité avec laquelle un séisme est ressenti en un lieu donné dépend de la nature des terrains traversés par les ondes sismiques ainsi que des conditions locales : les ouvrages édifiés sur un sol meuble subissent des dommages plus importants que ceux situés sur un sol rocheux. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les couches de sols meubles se comportent comme un oscillateur qui amplifie l'excitation appliquée à la base par le rocher. Le spectre de réponse doit donc être adapté à la nature du sol. Les sols meubles filtrent les fréquences supérieures du séisme et ne laissent passer que les fréquences basses qui sont généralement voisines de celles des constructions.

Des études particulières ont été entreprises par M. Koller, spécialiste dans le domaine du séisme, avec l'objectif de déterminer le spectre de réponse élastique S_e (fig. 13) propre au site de Plan-les-Ouates et calibré sur l'analyse modale simplifiée de l'*Eurocode* 8. Cette analyse est applicable à des bâtiments symétriques avec des raideurs en plan des planchers suffisamment importantes.

Méthode de calcul

Le spectre de dimensionnement S_d (fig. 14) est déduit du spectre de réponse élastique en considérant le comportement dissipatif de la structure porteuse (comportement ductile, formation de rotules plastiques). La formation de rotules plas-

15

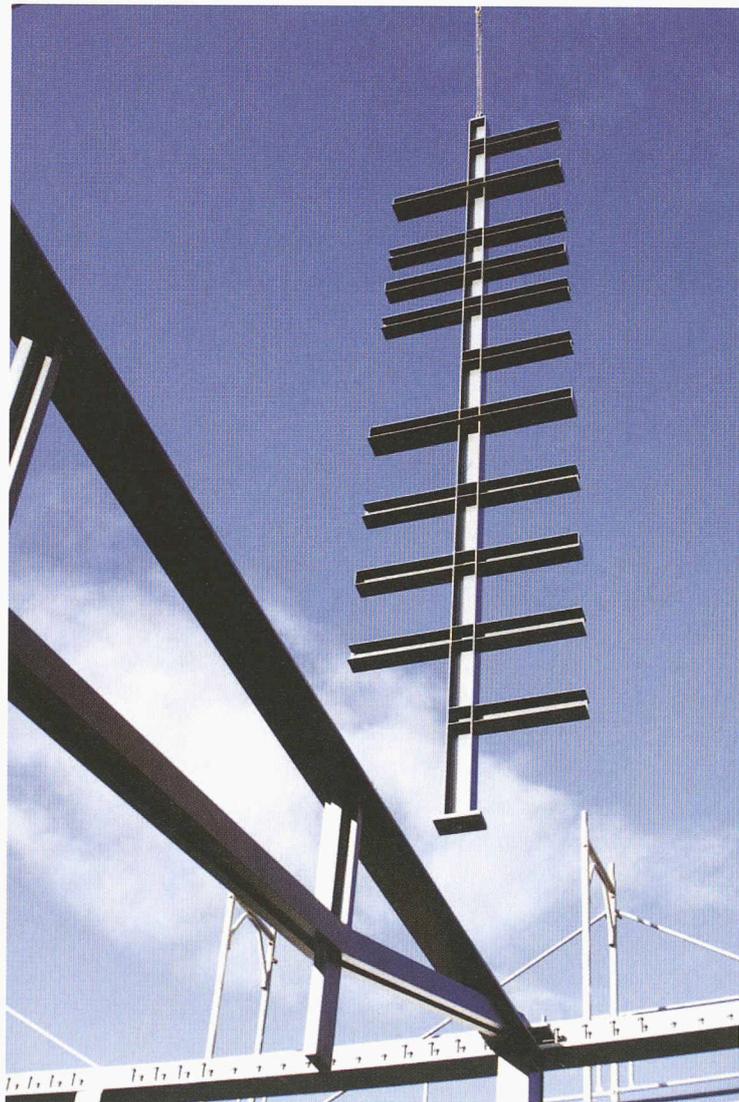


¹ Poutre formée de membrures et de montants aux nœuds rigides

Fig. 16 : Élément du noyau métallique (Photo Luc Buscarlet)

(Sauf mention, toutes les illustrations et images de synthèse ont été réalisées par Guscetti & Tournier Ingénierie civile)

16



tiques implique une absorption d'énergie qui réduit les forces engendrées par le séisme. Le spectre de dimensionnement prend en compte ce phénomène de réduction des efforts par un facteur q pour le dimensionnement des sections. Les déformations ne bénéficient naturellement pas de cette réduction. Dans le cas de notre structure métallique de type multi-cadre, le coefficient de comportement est de $q = 4$.

Des dispositions ont été prises pour s'assurer que les rotules plastiques ne se produisent dans les éléments porteurs verticaux qu'après la formation de rotules dans les éléments transversaux, excepté à la base de la structure au niveau de l'appui au noyau en béton. Cette exigence est capitale pour la stabilité de l'ouvrage en cas de séisme.

Le calcul dynamique de la structure par un modèle 3D a permis de déterminer les fréquences propres de vibration des bâtiments selon les deux directions principales; longitudinalement $f_{1L} = 0,3$ Hz ($T_{1L} = 3,3$ s) et transversalement, $f_{1T} = 0,5$ Hz ($T_{1T} = 2,0$ s).

De ces fréquences ont été déduites les accélérations horizontales permettant de définir les forces de remplacement à introduire dans le modèle numérique de calcul.

Le même modèle a permis de déterminer les charges critiques de flambage élastique. Ce dernier aspect est assez complexe dans le cas de cadres non tenus latéralement. Il est en effet indispensable de juger du degré de rigidité latérale pour définir la méthode de calcul des efforts intérieurs. Dans notre cas, le cadre est considéré comme rigide et nous avons donc pu négliger l'influence des déplacements horizontaux sans passer par un calcul au second ordre.

Aptitude au service

La souplesse relative de la structure à cadre par rapport à d'autres types de systèmes de stabilisation plus classiques (noyaux en béton armé, systèmes contreventés) présente l'avantage d'une meilleure réponse aux accélérations horizontales du séisme. Par contre, elle introduit la problématique d'une plus grande déformabilité qui doit être étudiée en détail pour garantir la compatibilité de comportement entre la structure porteuse et la façade.

Le critère de déformation admis sous l'effet des actions variables de courte durée est de $w_i < h / 100$ (h étant la hauteur d'étage). Cette limite est atteinte pour le cas de séisme dans le sens longitudinal (axe faible des noyaux).

Conclusion

Le projet du nouveau complexe industriel de *Rolex SA* est un formidable défi d'ingénierie civile, autant pour ses aspects techniques que d'organisation et de planification. L'esprit insufflé par le maître de l'ouvrage, sa volonté d'atteindre des objectifs non seulement quantitatifs, mais surtout qualitatifs, a certainement influencé la méthode de travail de l'équipe de projet. Le niveau technique des solutions adoptées a demandé une approche scientifique au-delà de ce que l'on pratique habituellement. L'étude de solutions novatrices a été possible par la mise en commun des compétences du groupe d'ingénieurs et de ses spécialistes. La conception claire des structures porteuses a servi de base aux nombreuses réflexions qui ont fait évoluer le projet de l'étude jusqu'à sa réalisation. C'est finalement la manière d'aborder l'étude dans sa dimension d'ensemble - de la théorie aux mesures et contrôles de chantier en passant par les méthodes d'exécution - qui a permis de garantir le bon déroulement des opérations en termes de qualité, de planification et de sécurité.

Gabriele Guscetti
Guscetti & Tournier Ingénierie civile SA
Rue du Pont-Neuf 12, CH - 1227 Carouge