

Le toit

Martin Manning, de la Société *Ove Arup et Associés*, a dirigé l'équipe chargée du toit, où creux et arrondis se succèdent sur toute la longueur de l'édifice. Ce profil ondulé est créé par un grillage en acier léger, recouvert d'une toile. Les traverses du grillage forment une suite d'arceaux semi-circulaires, un peu comme les arcs-boutants de certaines églises médiévales. Des lucarnes s'ajustent dans chacun des 129 modules du toit, qui mesurent généralement 36 mètres sur 36 et pèsent 120 tonnes. Ils sont soutenus par des piliers et reliés aux meneaux des murs extérieurs (les barres verticales séparant des éléments de fenêtres dans une paroi vitrée). Pour ces dernières fixations, les ingénieurs ont prévu des joints en acier qui permettront aux murs et au toit de bouger horizontalement et verticalement l'un par rapport à l'autre, en cas de vents violents.



La construction

Le contrat de 6,3 milliards de francs, prévu pour la réalisation du projet *Foster Asie*, fut attribué à un consortium de cinq sociétés britanniques, chinoises et japonaises : la Société chinoise de construction, la Société *Kumagai Gumi*, la Société *Maeda*, la Société internationale de construction *Amec* et la Société *Balfour Beatty*. L'ouvrage fut terminé à l'automne 1997, avec un peu de retard dû aux fortes pluies de 1994 et aux conditions de sols difficiles à Chek Lap Kok. Quand les travaux de construction du terminal battaient leur plein, la Société chinoise de construction employait simultanément plus de 1 600 ouvriers.



PONT DE TSING MA

Le pont de Tsing Ma

Un pont suspendu

Le pont de Tsing Ma relie l'île de Lantau au continent par-dessus un détroit très fréquenté par les navires : il mène au delta de la rivière des perles. Avec une longueur de 2,17 kilomètres, ce pont suspendu à deux niveaux a été le plus long pont suspendu jamais construit, portant à la fois des voies ferroviaires et des voies routières. Les Sociétés *Trafalgar House*, *Costain Civil Engineering* et *Mitsui* avaient signé un contrat de 5,4 milliards de francs pour la construction du pont, en 1992. Les travaux se sont achevés en 1996.

Le tablier

La construction d'un tel pont en seulement quatre ans est étonnamment rapide. L'ouvrage devrait résister à des vents de plus de 300 kilomètres à l'heure : non seulement la Chine du Sud est fréquemment balayée par les typhons, mais le pont de Tsing Ma surplombe une passe étroite où le vent s'engouffre. Cinquante et un voussoirs à profil



PONT DE KAP SHUI MUN



PYLÔNE DU PONT DE TSING MA

aérodynamique et à double plancher ont été assemblés. Dans chacun des voussoirs, des orifices canalisent les vents violents et renforcent la stabilité.

Les éléments des travées en acier ont été fabriqués par des industriels japonais et britanniques qui les ont expédiés par bateaux jusqu'en Chine, juste avant le début des travaux. Des barges ont transporté les voussoirs assemblés, qui pesaient 1 000 tonnes ; une grue à portique les hissait alors à marée basse. Ces voussoirs ont généralement 40 mètres de large, 36 mètres de long et 7,3 mètres de haut ; ils portent six voies de circulation automobile au niveau supérieur, deux voies ferrées et deux voies de secours au niveau inférieur.

Les pylônes

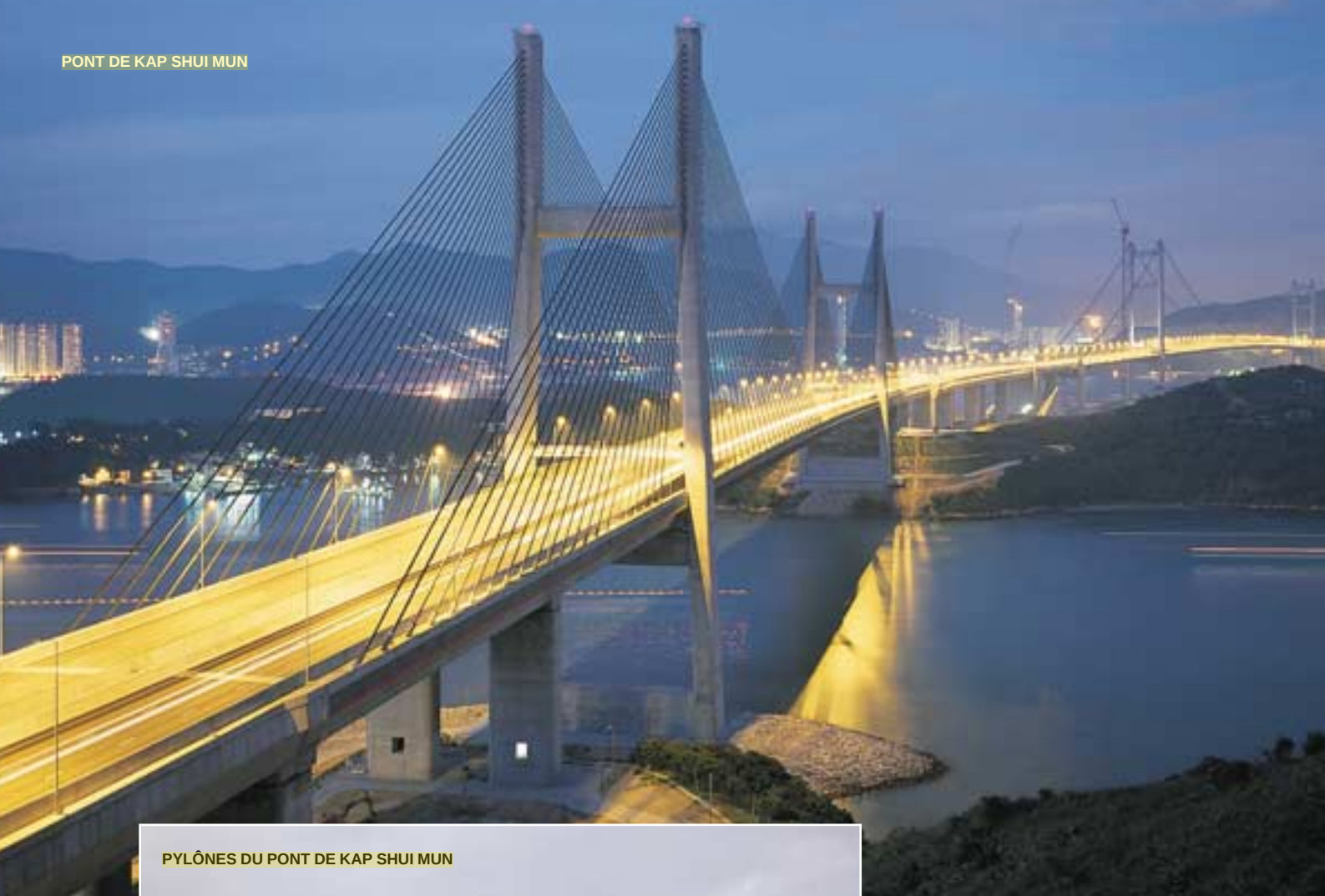
Deux pylônes en béton armé, d'une hauteur de 206 mètres chacun, soutiennent la travée principale du pont de Tsing Ma. La Société *Mitsui/Costain* les érigea en utilisant un cintre

mobile, que l'on déplaçait à mesure que l'on coulait le béton. Les entreprises terminèrent ce travail en trois mois à peine. Le pylône situé à l'Est repose sur un substrat rocheux de l'île Tsing Yi. À l'extrémité Ouest, une fondation du pylône de Ma Wan est ancrée dans le substrat rocheux au-dessous du détroit. Une île artificielle a été construite autour de cette fondation, afin de protéger le pylône des accidents de navigation.

Les câbles

Le pont est soutenu par des câbles de 1,1 mètre de diamètre. Des soldats de l'armée britannique ont travaillé en l'air sur de légères passerelles de bois pour assembler les 27 500 tonnes de fil d'acier galvanisé qui composent ces câbles. Cette méthode, dite « tissage aérien », fut choisie pour son coût et son efficacité, prouvée lors de précédents chantiers.

Elle présente des dangers, mais des câbles de cette dimension auraient été trop encombrants pour être réalisés en atelier. Une fois assemblés, les câbles ont été passés sur des selles d'acier fixées au sommet des pylônes et tendus par des masses d'ancrage à chaque extrémité. Les câbles de suspension, espacés de dix mètres, descendent des deux câbles principaux et soutiennent la travée principale du pont (1 377 mètres) ainsi que la travée Ouest, de 359 mètres de long. La travée Est, légèrement plus courte, repose sur des piliers de béton.



PYLÔNES DU PONT DE KAP SHUI MUN



Le pont de Kap Shui Mun

Les pylônes

Le pont de Kap Shui Mun prolonge le pont de Tsing Ma. Sa travée principale a une portée de 430 mètres. Il s'étend sur une longueur totale de 750 mètres et possède l'un des plus lourds tabliers du monde pour sa longueur.

Il a été construit par la Société *Kumagai Gumi*, la Société *Maeda*, la Société de construction *Yokogawa* et la Société japonaise *Hitachi Zosen*. L'ouvrage repose essentiellement sur deux pylônes en forme de H, d'une hauteur de 145 mètres chacun.

La travée

Le tablier du pont est composé de deux types de structures. Les voussoirs du centre de la travée principale sont des doubles caissons, composés d'un mélange d'acier et de béton : le béton des niveaux inférieur et supérieur est coulé sur des cadres d'acier pré-

fabriqués dans l'île de Lantau, acheminés par bateaux, puis hissés et mis en place.

En revanche, les travées latérales et le reste de la travée centrale sont constitués de poutres de métal (quatre plaques soudées formant une boîte) qui ont été renforcées par du béton et qui ont été progressivement poussées à partir de chacune des culées vers les pylônes.

La largeur du pont étant de 35,2 mètres, les ouvriers ont dû placer deux poutres à la fois, côte à côte, pour assembler la travée ; ils ont utilisé du béton pour assembler chaque paire, au niveau inférieur, et des traverses pour relier les dalles du dessus.

Les rampes qui ont servi à mettre en place les voussoirs ont été incorporées à l'ouvrage. Elles servent d'éléments de transition entre la partie médiane, composée d'éléments d'acier et de structures en béton, et les voussoirs latéraux, en béton seulement.

Le viaduc de Ma Wan

À proximité, le viaduc de Ma Wan (*non représenté*) a 504 mètres de long. Il a été construit par réalisation, sur place, de voussoirs de béton, étayés par des palées provisoires. Six travées, de 84 mètres de long chacune, ont été préparées en quatre segments de 21 mètres de long. Ces voussoirs de béton ont ensuite été mis en compression par des câbles tendus : ainsi le béton ne risque pas de travailler en extension, et les risques de fissuration sont réduits.

Le viaduc de Kwai Chung

La construction du viaduc de Kwai Chung a présenté de nombreuses difficultés, car ce pont routier devait supporter le trafic routier et le trafic ferroviaire sur trois kilomètres, dans

un site déjà occupé : de nombreuses structures différentes ont dû être utilisées.

La route principale court au-dessus de poutres de béton préfabriquées, en forme de U. Pour renforcer le béton, on l'a comprimé par des câbles tendus ou par des barres, avant la pose. Puis les hourdis en béton ont été coulés sur place. Les équipes ont construit les tronçons ferroviaires à partir de segments de béton préfabriqués et mis en post-tension. Ces sections ferroviaires courent entre des piliers, qui reposent sur de longs poteaux massifs, enfoncés dans le sol et sur des traverses de portique. Une grande partie de ce viaduc est bâtie sur un remblai, ce qui est très courant à Hong Kong. Des entreprises françaises ont dû creuser jusqu'à 40 mètres de profondeur pour trouver un terrain stable où ancrer les piliers. En plusieurs endroits, on a construit le viaduc au-dessus de 15 voies routières, que l'on ne pouvait pas interrompre.



Le tunnel de l'Ouest du port

Les Sociétés *Nishimatsu* et *Kumagai Gumi* ont construit le dernier tronçon, un tunnel de deux kilomètres de long, entre le port Victoria et le centre de Hong Kong. De chaque côté du port, les abords du tunnel ont été construits sur du terrain pris sur l'eau. Du côté de Hong Kong, le chantier fut difficile en raison de la présence de vase : il fallut mettre en place des murs de filtrage – pour isoler la vase et stabiliser le sol sous les fondations – jusqu'à 40 mètres de profondeur. Du côté de Kowloon, le travail fut plus facile : les abords furent assurés à l'aide de dalles de béton armé, coulées sur place.

De l'autre côté de l'île de Hong Kong, un chantier à ciel ouvert, en bordure de mer, coulait les voussoirs du tunnel proprement dit. Après l'assemblage des voussoirs, le chantier fut inondé, et les voussoirs furent remorqués par bateau jusqu'au site. Les tronçons du tunnel ferroviaire furent construits au même endroit. Une fois les voussoirs descendus dans la tranchée, on a étanchéifié le tunnel et pompé l'eau qui s'y trouvait.

TRAVERSÉE DU PORT



ENTRÉE DU TUNNEL



L'aérogare

L'aérogare a été construite sur un terrain de six hectares, devant la place des échanges, où se trouve la Bourse de Hong Kong. Elle comprend une gare souterraine à cinq niveaux, de nombreux tunnels ferroviaires et un bâtiment dont le toit d'acier s'étend sur 25 mètres. Une allée piétonnière souterraine relie le terminus à la gare centrale pré-existante.

Le tunnel, d'une longueur de 300 mètres, serpente sous la Bourse : l'équipe de la Société japonaise *Aoki* a dû percer entre les fondations de la Bourse sans couper les réseaux de fibres optiques ni les autres lignes de communications. Aucun aménagement ne devait pouvoir causer un affaissement du bâtiment. Le tunnel passe également sous la rue Connaught, l'une des artères les plus animées de Hong Kong. Malgré ces difficultés, il est prévu que la liaison ferroviaire ouvrira en juin 1998, deux mois après la mise en service de l'aéroport de Chek Lap Kok.

RUE CONNAUGHT





Les gratte-ciel sont-ils encore nécessaires ?

WILLIAM MITCHELL

Les tours et les gratte-ciel étaient adaptés à l'organisation du travail du XX^e siècle. À l'époque des réseaux de communication numériques, ils semblent obsolètes. Reste leur fonction symbolique.

Les peuples de l'Antiquité ont construit des ouvrages étonnamment hauts, en se servant de la résistance à l'écrasement de la pierre et de la brique, mais ces monuments étaient compacts : avec ses 146 mètres de haut, la pyramide de Chéops affirme le pouvoir du pharaon, mais sa surface utile est très faible par rapport à la surface brute ; avec une base carrée de 230 mètres de côté, cette pyramide renferme une chambre royale de seulement cinq mètres de diagonale. Pis encore, le minaret hélicoïdal de la grande mosquée de Samarra, en Iraq (52 mètres de haut), est totalement massif, sans espace intérieur. Les flèches de la cathédrale de Chartres, qui culminent à 107 mètres, ne renferment que d'étroits espaces vides et des escaliers étriqués, malgré leur structure perfectionnée.

La révolution industrielle a permis la construction de grandes tours creuses, utilisables par de nombreux occupants : les architectes du XIX^e siècle découvrirent qu'en utilisant des cadres en acier et en béton armé et des cloisons légères, ils augmentaient la proportion de surface utile. À l'aide d'ascenseurs, ils accélérèrent la circulation verticale, et ils intégrèrent des systèmes mécaniques

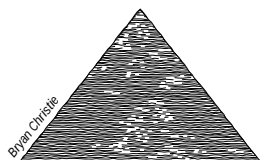
pour chauffer, ventiler ou refroidir des volumes internes de plus en plus spacieux. Vers les années 1870 et 1880, les architectes et les ingénieurs visionnaires de New York et de Chicago inventèrent ainsi les gratte-ciel modernes : l'Equitable Building, le Western Union Building et le Tribune Building, à New York, et le gigantesque Montauk Building, à Chicago.

Ces inventions architecturales répondaient à un besoin du capitalisme, parce que l'installation en un même lieu d'armées d'employés de bureau permettait de les faire travailler ensemble, utiliser les mêmes fichiers et les mêmes outils de travail et facilitait leur contrôle par la hiérarchie. Ces bâtiments élevés correspondaient aussi à une nouvelle conception de la ville, qui devenait un lieu d'échanges, avec un quartier d'affaires central, très dense, entouré d'une banlieue dortoir très étalée, ces deux zones communiquant par des liaisons radiales. Cette centralisation a fait augmenter la valeur immobilière du centre-ville : il devenait intéressant financièrement de construire la plus grande surface utile possible sur un terrain de superficie donnée.

Des contraintes techniques ont toutefois limité cette extension verticale des gratte-ciel : le poids des étages et la prise au vent, le transport des personnes, de l'eau et des équipements. Plus on monte, plus il faut de structures de soutien au sol, d'ascenseurs et de gaines de service. À partir d'une certaine hauteur, le surcoût des étages supplémentaires n'est plus compensé par le gain de surface, de plus en plus faible.

La planification urbaine limite aussi la hauteur des bâtiments : les grandes tours projettent de grandes ombres, masquent le ciel et sont parfois à l'origine de rafales de vent, dangereuses et désagréables au sol. Elles concentrent la circulation des piétons et des automobiles, engorgeant les artères environnantes, de sorte que les aménageurs imposent des limites de hauteur, de rapport entre la surface habitable et la surface au sol ou, plus subtilement, appliquent des formules qui réglementent la hauteur et le volume autorisés en fonction des dimensions des rues (d'où les formes en retrait et fuselées caractéristiques des gratte-ciel de Manhattan).

En raison de ces limitations, les bâtiments exceptionnels



Grande pyramide de Chéops
Vers 2600 avant J.-C.
146 mètres
Égypte



Minaret de Samarra
IX^e siècle
52 mètres
Iraq



Cathédrale de Chartres
XIII^e siècle
107 mètres
France



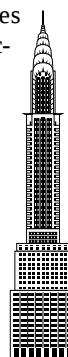
Equitable Building
1870
43 mètres
New York



Western Union Building
1875
70 mètres
New York



Tribune Building
1875
79 mètres
New York



Chrysler Building
1930
319 mètres
New York