

seront une porte vers le nouveau centre-ville. Elles distingueront «un lieu que tous reconnaîtront comme unique à Kuala Lumpur et à la Malaisie». La hauteur des tours n'est pas précisée : elles doivent seulement être belles.

En trois semaines, les architectes concurrents préparent des plans, des maquettes et des perspectives, qu'ils remettent à l'équipe technique du maître d'œuvre. En août, chaque concurrent présente son projet à plusieurs commissions, qui comprennent le Premier ministre malais : les problèmes techniques et économiques sont débattus, mais aussi les questions esthétiques et philosophiques. C'est finalement la Société *Cesar Pelli & Associates* qui est choisie : son projet a un aspect malais qui a séduit le jury.

Un groupement de 16 sociétés est alors constitué pour la conception précise de l'ensemble immobilier. Les sociétés occidentales, qui savent concevoir et construire des bâtiments très élevés, travailleront en étroite collaboration avec des entreprises malaises, pour leur transmettre ces compétences.

Une étoile d'inspiration islamique

Symboles de la puissance économique malaise, les tours Petronas doivent dépasser des gratte-ciel européens ou américains. Leur forme est inspirée de l'art islamique classique, où les motifs géométriques revêtent une plus grande importance symbolique que dans la culture occidentale.

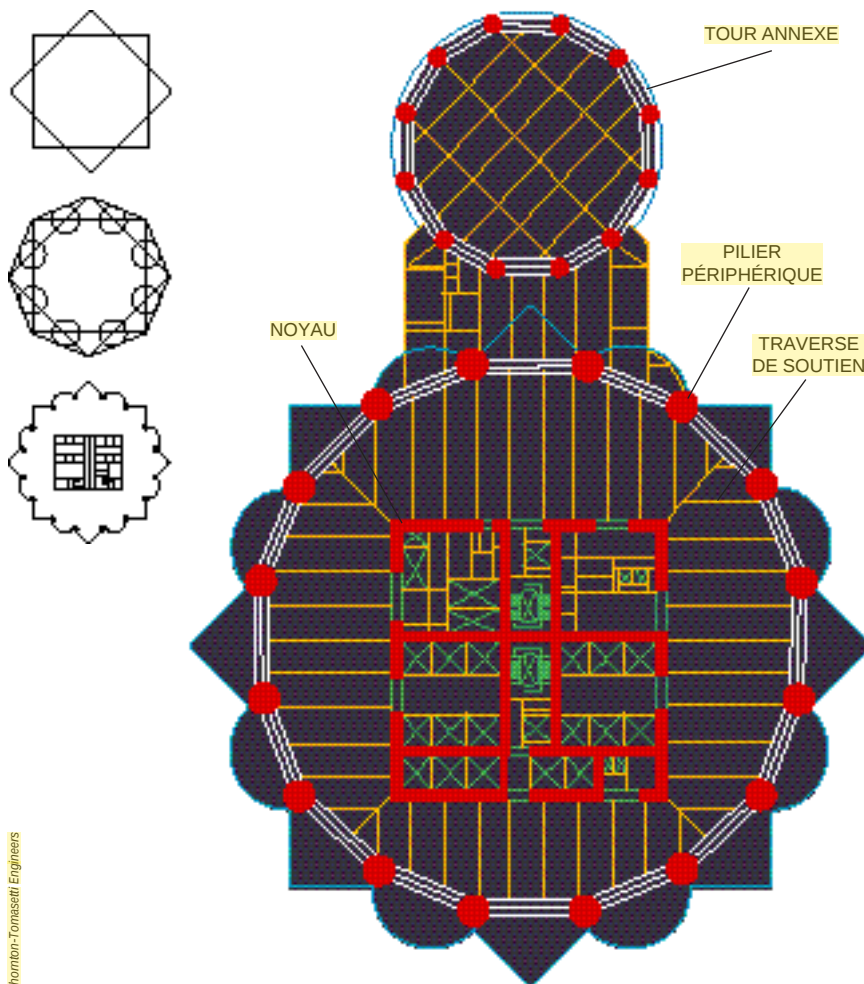
Lors de l'appel d'offres, la Société *Cesar Pelli* avait proposé un élégant contour en forme d'étoile à 12 branches qui permettait un usage fonctionnel de l'espace. Toutefois le Premier ministre malais avait alors laissé entendre que d'autres motifs seraient plus représentatifs de l'art islamique. Après l'attribution du contrat, le cabinet a cherché des motifs traditionnels et a trouvé que le plus fréquent était une étoile à huit branches, formée par la superposition de deux carrés concentriques, décalés d'un angle de 45 degrés. Toutefois, avec un tel plan, les murs extérieurs seraient venus trop près du centre du bâtiment, ce qui aurait gêné l'aménagement de l'espace intérieur.

L'ajout, dans les angles rentrants, de huit arcs de cercle a créé le motif à 16 branches qui a été retenu. Un pilier de structure occupe chacun des 16 angles rentrants, ce qui laisse l'intérieur de la tour libre de tout pilier.

Presque en même temps, la conception du noyau du bâtiment a commencé. Ce noyau est un parallélépipède creux, de section carrée : ses murs, au centre du bâtiment, sont le principal soutien de la structure. Il contient les ascenseurs, les escaliers, les systèmes de ventilation et de climatisation, et les toilettes. Il permet de satisfaire les futurs besoins des utilisateurs tout en gardant un rapport élevé entre l'espace utile et l'espace total. Dans les tours Petronas, ce rapport est finalement de 76 pour cent en moyenne pour un étage de bureaux, ce qui est satisfaisant pour un bâtiment aussi haut.

Le service des ascenseurs est optimisé. Chaque cage contient plusieurs cabines. Comme au World Trade Center de New York, les visiteurs qui se rendent dans la moitié supérieure des bâtiments sont d'abord emmenés par une cabine «directe» à mi-hauteur, où ils empruntent alors deux cabines de desserte locale. Aux heures de pointe, la capacité de transport est encore améliorée grâce à des cabines d'ascenseur à double pont.

Nous avons ensuite étudié en détail la façade extérieure et les espaces publics, en testant chaque élément des bâtiments avec des plans et des maquettes. Le choix du verre pour les fenêtres et de tubes en acier pour les pare-soleil, par exemple, détermine l'aspect global des bâtiments, le type d'éclairage des bureaux, la climatisation et, en définitive, les coûts de fonctionnement annuels.



2. LES ÉTAGES DES TOURS PETRONAS ont une forme d'étoile. Le contour était initialement une étoile à huit branches formée de deux carrés décalés de 45 degrés (*schéma supérieur à gauche*). Il a été modifié par l'ajout de huit arcs de cercle dans les angles rentrants des branches de l'étoile (*schéma du milieu*) pour accroître l'espace utilisable. Le dessin définitif comporte 16 parties saillantes : huit pointes et huit lobes (*schéma du bas*). Le noyau central, carré creux qui contient les ascenseurs, les ventilations mécaniques et les autres équipements de service, est relié aux piliers périphériques du bâtiment par des poutres de soutien. Un bâtiment plus petit, représenté par un anneau sur la partie supérieure du plan, monte jusqu'au 44^e étage des tours.

Des îles célestes

Comment élever une tour très haute ? Des piliers qui portent la charge totale du bâtiment la transmettent aux fondations. Ils sont reliés, à chaque étage, par des planchers et par des traverses qui laissent libre un vaste espace, aménagé ensuite selon les besoins. Des structures complémentaires assurent le contreventement (la résistance à l'action horizontale du vent) et la stabilité de l'édifice. Ainsi, un mur de refend qui s'élève sur plusieurs étages peut résister aux sollicitations dynamiques du vent ou d'un séisme.

Lorsque la hauteur augmente, l'augmentation de la prise au vent est un problème important. Le doublement de la hauteur d'un bâtiment multiplie par 16 l'amplitude des oscillations sous l'effet du vent, à rigidité égale. Cette dernière doit donc être augmentée fortement pour que les étages supérieurs ne se balancent pas trop.

L'alimentation des étages supérieurs en air conditionné, en eau et en électricité, ainsi que les réseaux de communication et les équipements sanitaires occupent une surface intérieure précieuse. Des pompes puissantes, à la base du bâtiment, doivent monter l'eau vers le sommet. Aux étages inférieurs, les tuyaux d'eau et les conduits de climatisation subissent des pressions élevées : on les réduit en disposant des réservoirs d'eau et des échangeurs de chaleur à intervalles réguliers.

Dans un bâtiment de plus de 30 mètres de haut, les camions à grandes échelles sont inutilisables pour la lutte contre les incendies. On doit installer des extincteurs, des alarmes, des systèmes de détection de fumées et des refuges contre le feu, locaux équipés d'une climatisation autonome.

Enfin, les méthodes de construction habituelles sont inadaptées à la grande hauteur : les grues, les plates-formes de travail et les coffrages (où le béton est coulé et mis en forme) doivent monter en même temps que le bâtiment. L'acheminement des ouvriers, du béton, de l'acier ou de verre au sommet du chantier ralentit celui-ci : le maître d'œuvre doit planifier le projet comme s'il travaillait sur une île isolée dans le ciel.

Malgré ces obstacles, on construit des bâtiments de plus en plus élevés. Avec les bétons à haute résistance, on réalise des éléments structuraux plus compacts et plus légers, qui réduisent les charges. Des aciers plus résistants, en cours de mise au point, seront bientôt utilisés dans les cas où la limitation du poids est primordiale. On appuie aussi les bâtiments sur des bases plus larges pour garantir la stabilité au vent : beaucoup de tours récentes couvrent l'équivalent de plusieurs pâtés de maisons.

La hauteur des bâtiments est aussi limitée par la physiologie des utilisateurs : les changements de pression créés lors des trajets en ascenseur limitent les vitesses de ces derniers. Le coût financier d'un bâtiment élevé est aussi, parfois, limitatif.

