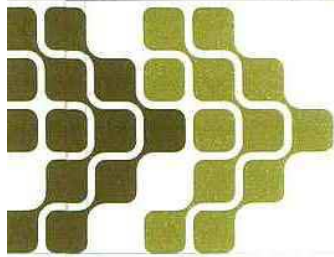


SCIENCE & VIE *en pratique*

le point sur



Les tours géantes

Les tours ne cessent de battre des records de hauteur ! La dernière en date, Burj Dubai, aux Emirats arabes unis, a été achevée en septembre et est devenue le plus haut édifice de la planète, en culminant à 818 m. Soit plus de 2,5 fois la tour Eiffel ! Les précédents records plafonnent loin derrière : la tour taïwanaise Taipei 101, terminée en 2004, n'atteint "que" 508 m ; les tours Petronas achevées en 1998 à Kuala Lumpur en Malaisie, 452 m et la Sears Tower de Chicago (1974), 442 m... En fait, il n'existe pas de dimension minimale pour définir une tour. Cela dépend des villes et de l'époque.

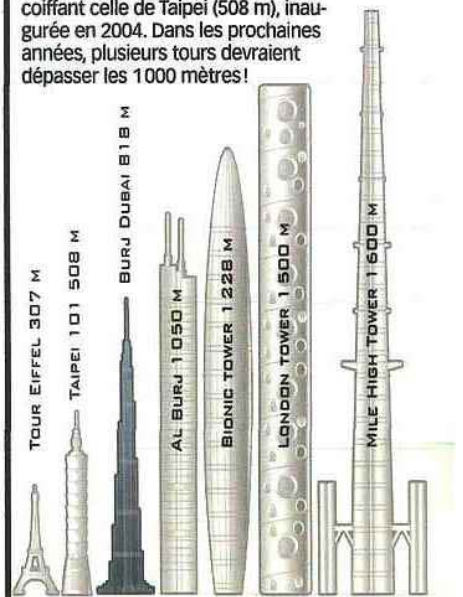
AU MINIMUM, 150 MÈTRES

Aujourd'hui, on appelle communément "tour" les édifices de plus de 150 m. Depuis la construction du premier grand immeuble en 1885 à Chicago ("Un peu d'histoire"), architectes et ingénieurs n'ont eu de cesse de défier les lois de la gravitation. Pour parvenir à relever de tels défis, les gratte-ciel présentent des

techniques de construction bien différentes de celles des édifices traditionnels, dont la structure portante correspond aux murs. Constitués de milliers de tonnes de matériaux, ils sont élevés soit autour d'un "squelette" d'acier fait de poteaux verticaux et de poutres horizontales d'étages, soit autour d'un noyau central en béton armé. L'arrivée, depuis deux décennies, d'alliages métalliques plus légers et plus solides que l'acier, ainsi que de nouveaux bétons a facilité leur construction, en offrant de nouvelles propriétés de résistance à la compression et à la traction. Afin de ne pas s'enfoncer dans le sol, les gratte-ciel sont en outre érigés sur des fondations formées de centaines de piliers en béton allant jusqu'à la roche dure du sous-sol et surmontés par une masse de béton armé sur laquelle repose la tour ("Comment ça marche"). Parfois, pour contrer les oscillations liées au vent et aux séismes, ils sont dotés de procédés particuliers comme une boule balancier de plusieurs centaines →

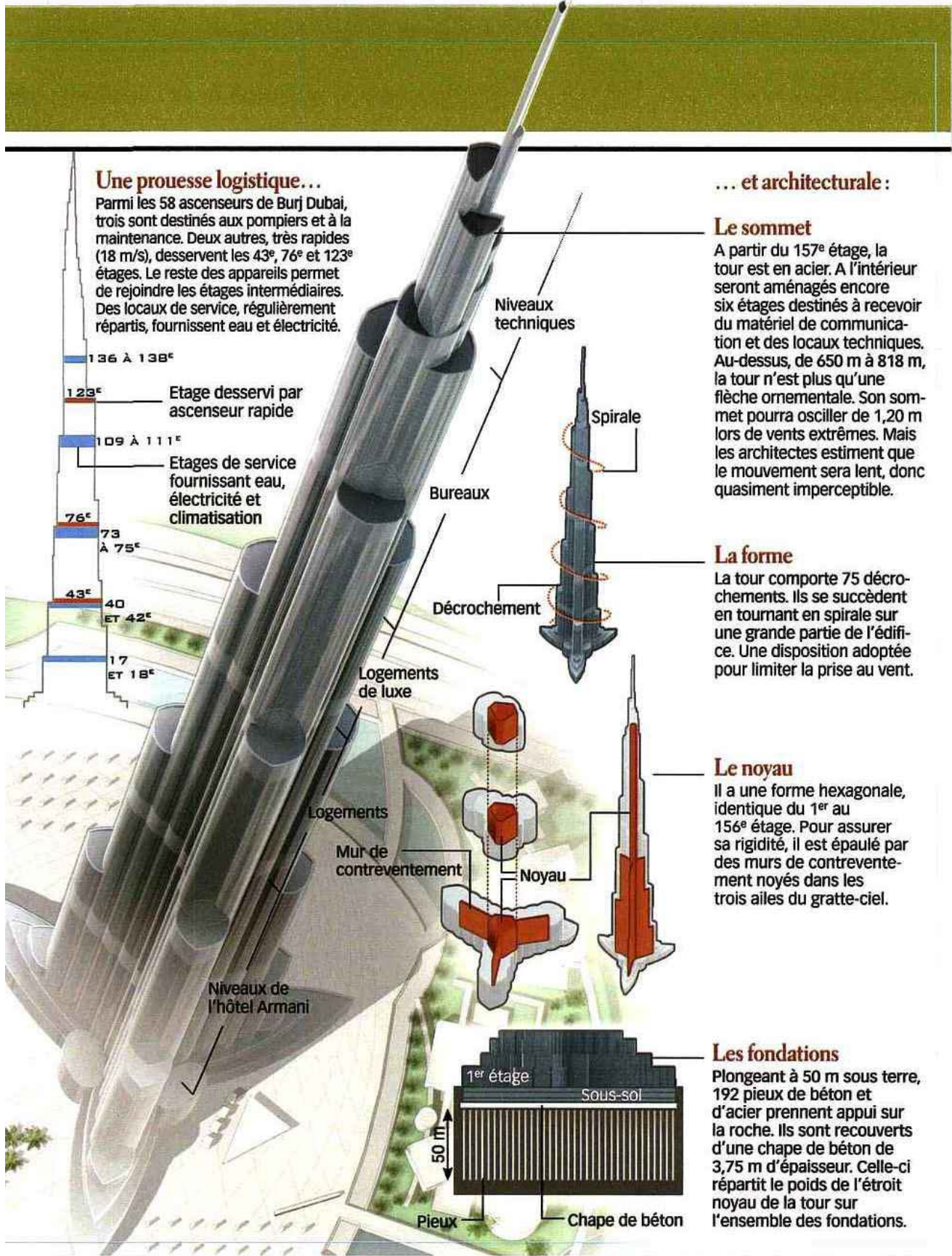
Toujours plus hautes

Aujourd'hui, c'est la tour Burj Dubai, à Dubai (Emirats arabes unis), avec 818 m, qui est la plus haute du monde, coiffant celle de Taipei (508 m), inaugurée en 2004. Dans les prochaines années, plusieurs tours devraient dépasser les 1000 mètres !



COMMENT ÇA MARCHE

Il y a deux sortes de tours géantes : les édifices à structure en acier, constitués d'un squelette porteur léger et souple, et les gratte-ciel qui s'appuient sur un cœur rigide, véritable colonne vertébrale, tout en béton. Les étages reposent tous sur ce "noyau". Alors que l'acier semblait seul pouvoir répondre à la folie des grandeurs urbaines, de nouveaux bétons ultra-performants sont venus changer la donne. Burj Dubai, la plus haute tour du monde, est donc majoritairement en béton.



Une prouesse logistique...

Parmi les 58 ascenseurs de Burj Dubai, trois sont destinés aux pompiers et à la maintenance. Deux autres, très rapides (18 m/s), desservent les 43^e, 76^e et 123^e étages. Le reste des appareils permet de rejoindre les étages intermédiaires. Des locaux de service, régulièrement répartis, fournissent eau et électricité.

... et architecturale :

Le sommet

A partir du 157^e étage, la tour est en acier. A l'intérieur seront aménagés encore six étages destinés à recevoir du matériel de communication et des locaux techniques. Au-dessus, de 650 m à 818 m, la tour n'est plus qu'une flèche ornementale. Son sommet pourra osciller de 1,20 m lors de vents extrêmes. Mais les architectes estiment que le mouvement sera lent, donc quasiment imperceptible.

La forme

La tour comporte 75 décrochements. Ils se succèdent en tournant en spirale sur une grande partie de l'édifice. Une disposition adoptée pour limiter la prise au vent.

Le noyau

Il a une forme hexagonale, identique du 1^{er} au 156^e étage. Pour assurer sa rigidité, il est épaulé par des murs de contreventement noyés dans les trois ailes du gratte-ciel.

Les fondations

Plongeant à 50 m sous terre, 192 pieux de béton et d'acier prennent appui sur la roche. Ils sont recouverts d'une chape de béton de 3,75 m d'épaisseur. Celle-ci répartit le poids de l'étroit noyau de la tour sur l'ensemble des fondations.

→ de tonnes placée en haut et se déplaçant latéralement. Une forme en "empilement de trapèze" comme celle de la tour Taipei 101 peut aussi répartir la poussée du vent sur toute la surface de l'immeuble et non sur un point donné, ce qui risque de faire trop tanguer l'édifice.

IMPACT SUR LA QUALITÉ DE VIE ?

En 2008, on comptait 15 000 immeubles de 100 m ou plus dans le monde. Sur ces 15 000 tours, 3 000 atteignent ou dépassent les 150 m ; 611 atteignent ou dépassent les 200 m ; et 51 atteignent ou dépassent les 300 m. La liste devrait continuer à s'allonger puisque de nouvelles tours géantes sont annoncées, battant des records qui donnent le vertige en dépassant 1 km de haut : la Bionic Tower, qui vise les 1 228 m ou la Mile High Tower de Djedda ("Et demain"), qui culminera à 1 600 m !

Cette "folie des grandeurs" a souvent pour moteur la volonté d'une entreprise ou d'un pays d'afficher sa puissance. Mais dans certaines parties du monde, c'est aussi la démographie galopante qui a poussé à construire ces tours. Les gouvernements et les entreprises espèrent ainsi y loger des milliers de personnes sur une surface au sol réduite. Voilà pourquoi huit des onze plus grands bâtiments du monde trônent en Asie.

L'Occident édifie également des géants de verre. Mais ils sont sans commune mesure avec les 818 m de Burj Dubai puisque l'une des plus hautes tours attendues dans l'Hexagone, la tour Phare (La Défense), ne devrait pas dépasser les 300 m. Reste à savoir quel impact toutes ces tours géantes ont et auront sur la qualité de vie de leurs occupants. Étonnamment, aucune étude scientifique ne semble avoir conclu sur cette question jusqu'ici. Les chercheurs commencent tout juste à s'emparer de ce sujet. **K.B.** ☼

-C.VARGA/KEYSTONE/EYEDEA - ECUIP - ALI HAIDER/EPA

UN PEU D'HISTOIRE

L'homme a érigé des édifices dès l'Antiquité. Ainsi, la pyramide de Kheops de 137 mètres fut-elle édifée par les Egyptiens il y a plus de 4 500 ans. Mais les "vrais" premiers gratte-ciel (des immeubles et non des monuments) ont été construits aux États-Unis seulement vers la fin du XIX^e siècle.

Jusqu'à-là, les bâtiments de plus de six étages étaient rares car les charges étaient encore supportées par des murs maçonnés (en pierre, brique, etc.) et des charpentes en bois. Des immeubles trop élevés auraient menacé de s'écrouler sous leur propre poids.

L'idée de bâtir en hauteur est née lors de la reconstruction de Chicago après le grand incendie du 8 octobre 1871, qui détruisit une grande partie du centre-ville.

Une course lancée au début du XX^e siècle

Les hauts bâtiments apparurent alors comme une solution idéale pour réduire les coûts liés à l'augmentation du prix des terrains. C'est notamment William Le Baron Jenney (1832-1907), architecte et ingénieur américain, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures à Paris, qui mit au point les techniques de construction des premiers gratte-ciel.

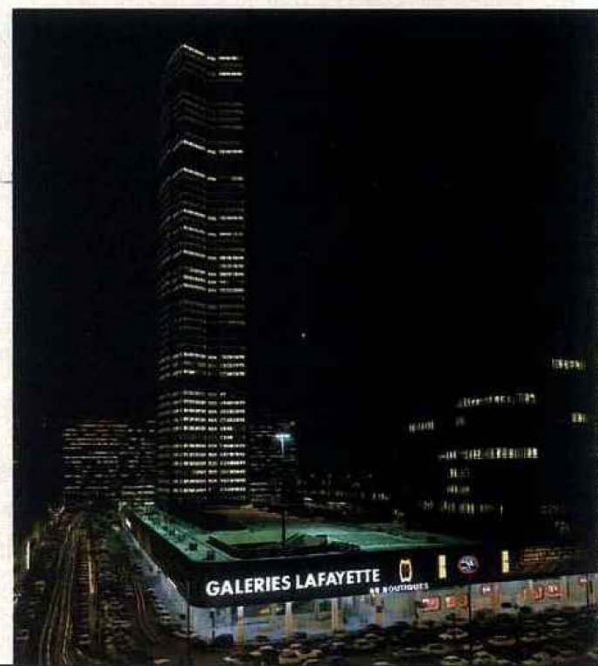
L'architecte pensa à élaborer une sorte de squelette sur laquelle repose tout l'édifice, en utilisant de l'acier, un matériau apparu vers 1786 à la suite des travaux de trois savants français, le chimiste Claude-Louis Berthollet, le mathématicien Gaspard Monge et le chimiste et mathé-

1885

> A Chicago, le Home Insurance Building, haut de 42 m, conçu notamment par William Le Baron Jenney, inaugure la structure en acier

1972

▼ A Paris, la tour Maine-Montparnasse s'élève à 210 m : c'est le plus grand immeuble jamais construit en France.





2009

> Après six ans de travaux, la tour Burj Dubai devient, en septembre, le plus haut édifice de la planète (818 m).

maticien Alexandre-Théophile Vandermonde. William Le Baron Jenney pensa aussi à tirer parti de l'ascenseur, inventé seulement en 1853 par l'Américain Elisha Otis (1811-1861), et qui permet aujourd'hui de se déplacer sans effort jusqu'au... cent

soixante-deuxième étage de Burj Dubai! Le premier gratte-ciel de l'histoire doté d'une structure en acier serait le Home Insurance Building de 42 m à Chicago, conçu entre autres par William Le Baron Jenney et achevé en 1885. Mais le grand mouvement de construction de gratte-ciel à New York débuta surtout au début du xx^e siècle, lorsque fut lancée la course à la hauteur, motivée par l'envie des investisseurs et des architectes de montrer leur force économique ou professionnelle. Tout commença avec le New York

World Building (94 m). Suivirent le Manhattan Life Insurance Building (1894, 106 m), le Park Row Building (1899, 119 m), puis la Metropolitan Life Tower (1909, 200 m), le Woolworth Building (1913, 241 m) et l'Empire State Building (1931, 381 m).

L'ossature en acier fut utilisée jusqu'aux années 1950. Puis arriva le béton armé, ce matériau composite constitué de béton et d'acier qui allie la résistance à la compression du béton à la résistance à la traction de l'acier.

Bientôt des gratte-ciel à Paris et à Lyon

Inventé en 1849 par les Français Joseph-Louis Lambot (1814-1887) et Joseph Monier (1823-1906), ce matériau permit la conception de structures avec un noyau central qui assurait la rigidité de l'édifice en parcourant le bâtiment sur toute sa hauteur. Le célèbre World Trade Center devint le plus haut gratte-ciel du monde en 1973 avec 417 mètres. Il fut dépassé en 1974 par la Sears

Tower (Chicago), qui mesure 442,3 m. En France, c'est entre 1969 et 1972 que les architectes Roger Saubot (1931-1999), Eugène Beaudouin (1898-1983), Urbain Cassan (1890-1979) et Louis Hoym de Marien construisirent le plus haut immeuble de France, dans le sud-ouest de Paris: la tour Maine-Montparnasse, de 210 m. Depuis les années 1990, les gratte-ciel poussent comme des champignons en Asie (dans des régions à forte croissance), dans les pays du Golfe et à Dubai.

Lors de l'attentat du 11 septembre 2001, à New York, l'incendie déclenché par le crash des deux avions sur les célèbres tours du World Trade Center a déformé l'ossature d'acier qui a fini par se plier. Aussi, aujourd'hui, on associe de plus en plus l'acier et le béton armé dans la construction des grands buildings, car le béton armé résiste mieux à la chaleur et aux déformations. En France, à Paris, outre les projets de gratte-ciel dans le quartier de La Défense comme la tour Phare, qui devrait atteindre 300 m, est attendue la tour Pyramide, un projet privé de tour de bureaux prévu pour 2012 sur près de 200 m de hauteur, au parc des Expositions de la porte de Versailles. Mais il existe aussi des projets en province. Ainsi, Lyon devrait accueillir en 2013 la tour **Incity** de 180 m et la tour Icade Part-Dieu de 130-140 m, en 2015.



BON À SAVOIR

■ COMBIEN COÛTE UN GRATTE-CIEL ?

Les 818 m de Burj Dubai auraient coûté 1,4 milliard d'euros! La tour Phare (300 m) prévue en 2014 à La Défense, à Paris, est estimée à 900 millions d'euros. Plus les tours sont hautes, plus elles coûtent cher. Dans les années 1980, des architectes américains ont calculé qu'une tour de 1,6 km vaudrait 174 €/m² contre 45 €/m² pour un immeuble de 40 étages.

■ JUSQU'OU, TECHNIQUEMENT, PEUT-ON MONTER ?

En théorie, aussi haut que l'on veut, mais en pratique, la construction devient délicate à partir de quelques centaines de mètres en raison des problèmes de vent ou de séisme. A cause de sa flexibilité, le gratte-ciel peut osciller de plusieurs dizaines de centimètres au sommet. Pour contrer cet effet, de lourdes masses mobiles sont parfois placées à ce niveau. La tour peut aussi avoir une forme permettant de mieux répartir l'effort du vent.

■ EXISTE-T-IL D'AUTRES LIMITES À LA HAUTEUR DES GRATTE-CIEL ?

Oui: les lois d'urbanisation, qui veillent à ce qu'une ville ne soit pas défigurée par des bâtiments trop imposants. Voilà pourquoi la tour Montparnasse, à Paris, atteint "seulement" 210 m.

■ OÙ TROUVE-T-ON LE PLUS DE TOURS ?

En Chine: 1300 gratte-ciel de 150 m (en 2008); aux États-Unis: 634 bâtiments de plus de 150 m; aux Emirats arabes unis: 211 tours de plus de 150 m.

■ QUELLES SONT LES SPÉCIFICITÉS D'UN CHANTIER DE CONSTRUCTION ?

"Pour les échafaudages, on utilise des coffrages glissants qui s'ancrent sur la structure sous-jacente, c'est-à-dire le niveau précédemment construit. Les grues (les plus hautes dépassent 100 m) peuvent être prises dans la structure du bâtiment pendant sa construction; et les vides laissés sont comblés en fin de chantier. Quant au béton, il doit être très liquide pour pouvoir être pompé en hauteur", explique Thibault Skrzypek, de l'École nationale des ponts et chaussées.

ET DEMAIN...

Dans quelques années, Burj Dubai, le plus haut gratte-ciel du monde, paraîtra minuscule à côté de certains projets, d'ores et déjà prévus.

Vers 2015-2020, la Bionic Tower devrait culminer à Shanghai à 1228 mètres, soit presque quatre fois la tour Eiffel! La tour Mile High Tower de Djedda devrait, elle, s'élever à 1600 m en Arabie saoudite et la London Tower (Grande-Bretagne) à plus de 1500 m, vers 2016. Autre projet – mais qui semble, lui, être plus une simple annonce –:

Eugene Tsui, architecte et directeur de Design & Research Inc. (Californie), propose de construire une tour dite Ultima Tower haute... de plus de 3 km! Pour mener à bien ces projets, les architectes rivalisent de

créativité. Ainsi les architectes espagnols travaillant sur la Bionic Tower ont pensé à une nouvelle disposition des ascenseurs pour ne pas bloquer les accès lors d'une panne et permettre aux pompiers d'intervenir plus facilement en cas de feu: ils ne seront pas placés autour du noyau central, comme dans les tours classiques, mais répartis sur plusieurs gros piliers tout autour de la mégastructure.

Des tours "vertes"

A l'avenir, les gratte-ciel devraient aussi devenir plus écologiques. Selon le concept des "tours vertes", ces nouveaux immeubles sont censés produire eux-mêmes une partie de leur énergie via des panneaux solaires ou

des éoliennes. Ils devraient gaspiller moins d'énergie grâce à une meilleure isolation et à des fenêtres mieux orientées pour bénéficier de la chaleur et de la lumière du soleil. A titre d'illustration, la fameuse Freedom Tower, qui doit remplacer l'ex-World Trade Center de New York en 2013, devrait produire 20 % de son énergie au moyen d'éoliennes. Autre innovation à venir: les tours pivotantes, comme la "tour dynamique" de l'architecte italien David Fisher, prévue pour culminer à 420 mètres au-dessus de Dubai dès 2010. Chaque étage pourra tourner indépendamment de 360° et, ainsi, suivre la progression du soleil. Sur simple commande vocale des occupants!

▼ La prochaine révolution viendra sans doute de la "tour dynamique" (420 m), dont chacun des 80 étages pivote sur 360°. La première sera édifée fin 2010 à Dubai.

