

ARCHITECTURE URBANISME

Marc Givry Architecte

Il était une fois un roi qui demanda à un miniaturiste qui faisait son portrait de lui apprendre à peindre :
« Sire, comment vous apprendrais-je la peinture, qui est l'art de mettre les figures à plat, si vous ne connaissez déjà l'art de créer des figures dans l'espace, ce qui est le propre de la sculpture ?
- Commence donc par m'enseigner la sculpture !
- Pourrais-je, Sire, vous enseigner l'art de créer des figures dans l'espace, si vous ignorez les lois de l'architecture, dont le propre est précisément d'organiser l'espace ? Et l'on ne peut comprendre l'ordonnance de l'espace sans connaître les lois de la musique, qui sait ordonner le temps, dont les rythmes régissent l'harmonie de l'Univers. »

Brèves questions de temps

En Inde, parler d'architecture serait donc se préoccuper du temps. Le temps long, bien sûr, celui de l'histoire, des siècles, voire des millénaires. Et ici, le temps de l'histoire commence assez tôt, au III^e millénaire avant notre ère avec la civilisation dite de l'Indus, l'une des plus anciennes civilisations du monde. Une histoire qui aura laissé quelques traces de préoccupations sismiques, comme nous le verrons plus loin.

Le temps, c'est aussi un temps plus bref, celui d'un séisme, quelques minutes qui bouleversent une province de 42 millions d'habitants, réputée pour sa prospérité économique et pour avoir été le pays d'enfance de Gandhi. A Bhuj, on nous a indiqué que le séisme avait duré trois minutes. Trois minutes, à l'échelle de l'histoire, ce n'est pas grand chose, mais pour ceux qui l'on vécu, trois minutes, c'est long, très long.

Mais en matière de génie parasismique, il y a aussi un temps encore plus bref, qui se compte en seconde, voire en fractions de seconde, le temps de la période propre des constructions, un temps bref qui n'est pas sans conséquences.

Les règles de calcul parasismique indiennes, les Indian Standards, donnent la période fondamentale T, en seconde, d'un immeuble avec les formules suivantes :

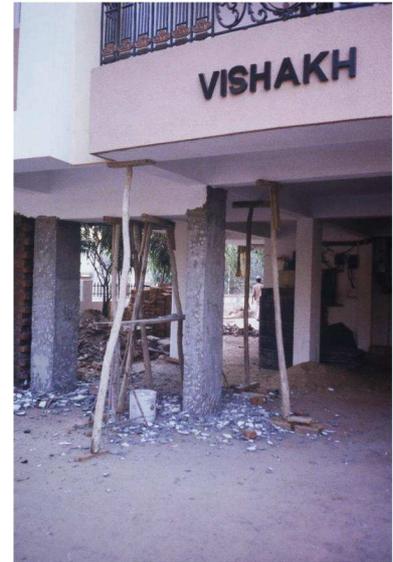
- $T = 0.1 n$, pour les structures de type portique sans mur ni élément de contreventement, n étant le nombre d'étage
- $T = 0.09 H / \sqrt{d}$, pour les autres structures, H étant la hauteur en mètre et d la dimension à la base dans le sens considéré

Le tableau suivant donne des ordres de grandeurs pour des immeubles de 1 à 10 étages, avec une hauteur moyenne d'étage de 3 m, et des dimensions à la base de 10 à 15m :

Nombre d'étages	Hauteur en m	T en s Portique	T en s Mur d = 10m	T en s Mur d = 15m
20	60m	2.00s	1.70s	1.40s
10	30m	1.00s	0.85s	0.70s
5	15m	0.50s	0.43s	0.35s
4	12m	0.40s	0.34s	0.28s
3	9m	0.30s	0.26s	0.21s
2	6m	0.20s	0.17s	0.14s
1	3m	0.10s	0.09s	0.07s

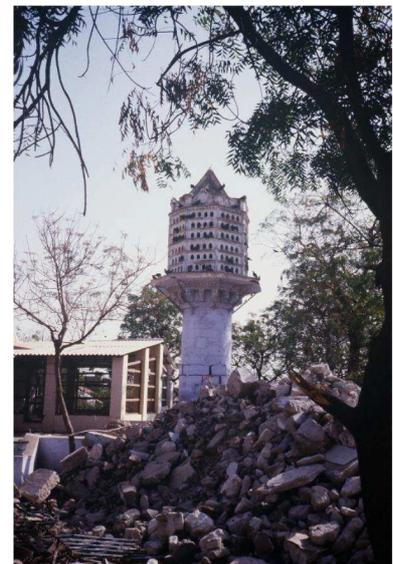
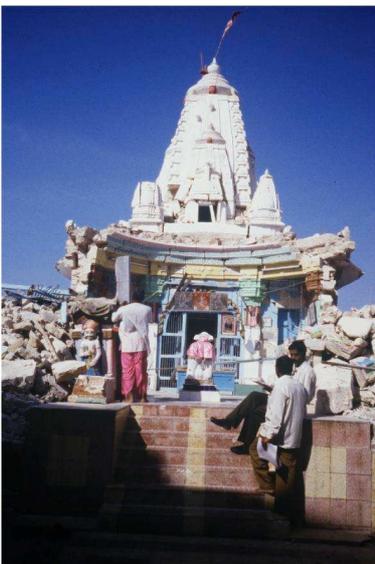
D'Ahmedabad à Bhuj

C'est en ayant présent à l'esprit ces éléments que nous avons entamé notre mission. A Ahmedabad tout d'abord, la grande métropole du Gujarat qui compte plus de trois millions d'habitants, nous sommes à environ 240 km à l'est de l'épicentre, et là ce sont plutôt des constructions élevées qui ont été touchées. Des immeubles entre 4 et 10 étages se sont effondrés, mais il n'y a quasiment pas de dégât pour les constructions basses de la vieille ville. On peut noter que les immeubles effondrés avaient toujours un RDC transparent, avec des sections très faibles. Ils devaient donc être très souples avec une période élevée.



Ahmedabad (240 km de l'épicentre) : immeuble de 10 étages, immeuble de 4 étages totalement effondré, RDC "typique"

A l'inverse, à proximité de la zone épiscopentrale, si les constructions basses sont presque toutes ruinées, les constructions plus élevées ont souvent mieux résistées. Dans l'ensemble, tous les châteaux d'eau sont intacts, les pylônes aussi, même quand ils supportent des transformateurs. A Bhuj, à environ 60 km à l'ouest de l'épicentre, dans la vieille ville totalement ruinée, la partie élevée d'un temple est intacte, tout comme la tour de l'horloge du Rao Pragmalji Palace. A Anjar, à environ 45 km au sud-ouest de l'épicentre, dans une zone très touchée, un pigeonnier, pourtant en maçonnerie, émerge des décombres.



*Bhuj (65 km de l'épicentre) : dans la vieille ville ruinée un temple et la tour de l'horloge intacts
Anjar(45 km de l'épicentre) : un pigeonnier émerge des décombres.*

De ces constatations, on pourrait conclure qu'il faudrait construire en hauteur près des épiscopentres et plutôt bas lorsqu'on est plus loin, malheureusement dans ce secteur de l'Inde on ne connaît pas encore la position du prochain épiscopentre et la démarche n'est guère praticable.

De la vulnérabilité

S'il n'est guère possible de positionner d'avance un séisme, par contre on peut apprécier à priori la vulnérabilité intrinsèque des différents types de construction. En allant d'Ahmedabad à Bhuj, pour ce qui concerne les bâtiments de un à deux étages, nous verrons d'abord des dégâts sur des constructions en maçonnerie avec de la terre comme mortier, les constructions en béton ayant mieux résisté, comme par exemple à Halvad à 100 km à l'est de l'épicentre. Puis petit à petit, nous verrons que les destructions ont touché presque tous les types de constructions, comme à Bhachau, très proche de l'épicentre où les destructions sont presque totales.



Halvad (100 km de l'épicentre) : des constructions en maçonnerie avec un mortier de terre ruinées, des constructions en béton intactes



Bhachau (à 12 km de l'épicentre) : quelques éléments en béton émergent d'un océan de ruines

En fait, nos constatations corroborent les approches indiennes sur la typologie et la vulnérabilité des constructions au séisme. A titre d'illustration, on trouvera ci-dessous des éléments extraits d'un article de Anand S. Arya, du département d'ingénierie sismique de l'Université de Roorkee, sur "Recent developments toward earthquake risk reduction in India", paru en novembre 2000, peu de temps avant le séisme. D'une manière un peu prémonitoire, cet article se posait la question de la prévention des désastres, des problèmes de recherche et de formation en génie parasismique, et il estimait surtout que, la majorité des constructions en Inde étant "non-engineered types", il fallait en priorité développer des directives "for disaster-resistant construction and technology transfer" ;

Table 2. Various building types by wall materials in India*

Wall type	Number (million)	Per cent of total	Damage vulnerability MSK intensity		
			VII	VIII	IX
Earthen walls (mud, unburnt brick/blocks)	R – 67.20	R – 34.46	M	H	VH
	U – 7.50	U – 3.83			
Stone walls	R – 17.30	R – 8.87	M	H	VH
	U – 4.40	U – 2.23			
Burned brick walls	R – 36.35	R – 18.64	L	M	H
	U – 32.25	U – 16.54			
Concrete walls	R – 1.16	R – 0.59	VL	L	M
	U – 2.80	U – 1.44			
Wood and ekra walls	R – 2.00	R – 1.02	VL	L	L
	U – 1.12	U – 0.58			
GI and other metal sheets	R – 0.25	R – 0.13	VL	VL	L
	U – 0.76	U – 0.39			
Bamboo thatch, leaves, etc.	R – 18.43	R – 9.45	VL	VL	L
	U – 3.20	U – 1.64			

*Census of housing 1991, total housing units = 195 million.

VH = Very high, H = High, M = Moderate, L = Low, VL = Very low.
R = Rural, U = Urban.

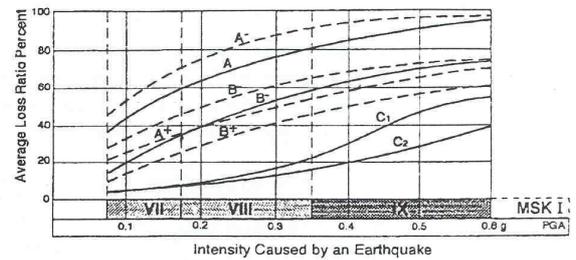


Figure 2. Vulnerability functions for various building types vs the earthquake intensities. A: Buildings in field stone, rural buildings, unburnt brick houses, clay house (1 to 1 ½storeys); B: Ordinary brick buildings, buildings in large blocks, half timbered buildings in natural dressed stone (1 to 1 ½storeys); C₁: Buildings in strengthened masonry in cement (1 to 2 storeys); C₂: Reinforced concrete and steel buildings, well built wooden buildings; A⁺: A type, but taller (2 or more storeys); A⁻: A type, earthquake-resistance features; B⁺: B type, but taller (2 or more storeys); B⁻: B type with earthquake-resistance features.

Extrait de "Recent developments toward earthquake risk reduction in India"

Le séisme un juge équitable ?

En poursuivant notre périple, au-delà de l'épicentre, nous atteindrons Bhuj, le chef lieu du district de Kutch, une ville de 120 000 habitants. Située à environ 65 km à l'ouest de l'épicentre, les dégâts, quoique très importants, y sont moindres que dans la zone épiscopentrale.

Pour les constructions récentes en béton armé, nous pourrions y voir des immeubles fortement endommagés mais pas totalement effondrés, qui nous permettront de faire un certain nombre de constatations. Et ces constatations seront un peu tristes : ces immeubles "méritaient" leur sort, il n'y avait pas "d'injustice", ils avaient des défauts manifestes que le séisme avait trouvés.

Pour parodier Vauban qui disait toujours, pour inciter ses ingénieurs militaires à bien construire, «... il n'y a point de juges plus équitables que les canons, ceux-là vont droit au but et ne sont pas corruptibles... », on pourrait dire que le séisme est un juge équitable qui va droit au but et qui ne laisse rien passer.

En fait, je dois un peu corriger cette appréciation. Si tous les immeubles endommagés "méritaient" leur sort, il y a aussi beaucoup d'immeubles peu ou pas endommagés qui ne valaient pas tellement mieux. Comme souvent dans ce genre de situation, ce qui m'étonne toujours, ce n'est pas tellement ce qui est par terre, mais c'est surtout ce qui est encore debout. Sur place, on se rend compte qu'il y a un grand aléa et une grande dispersion dans la sollicitation sismique.

En tout cas, nous avons trouvé à Bhuj toutes les "pathologies" habituelles : entrechoquement, poteaux courts, défauts d'aciers transversaux ... Mais deux défauts manifestes étaient assez récurrents.

Tout d'abord le problème des rez de chaussée transparents. D'une manière presque systématique à Bhuj (mais c'était aussi le cas à Ahmedabad), les immeubles résidentiels ne sont pas habités au rez de chaussée, mais malheureusement les poteaux de ce niveau ont le même dimensionnement que ceux des étages, et en cas de séisme le résultat est sans pitié.



Bhuj : l'effondrement des rez de chaussée

Cette faiblesse localisée et manifeste était d'autant plus dommageable qu'il s'agissait d'immeubles plutôt bien construits : en effet, malgré cette perte d'un niveau, ils étaient quasiment "intacts".



Bhuj : l'effondrement des réserves d'eau

Deuxième défaut très fréquent, le problème des réserves d'eau en toiture. D'une manière quasi systématique les immeubles résidentiels disposent en toiture d'une réserve d'eau assez importante, de l'ordre de 20 à 30 m³, mais très souvent cette réserve tient sur quatre poteaux très faibles et là aussi le résultat ne se fait pas attendre en cas de séisme.



Bhuj : un immeuble intact en façade, l'intérieur ruiné par la chute de la réserve d'eau

Ces deux "petits défauts" aux conséquences dramatiques me confortent dans mon opinion que faire une construction parasismique, ce n'est pas nécessairement quelque chose de compliqué, d'énorme ou de monstrueux, c'est bien souvent juste un peu d'attention et surtout un problème de diffusion de connaissances, des connaissances qui peuvent être, ou qui devraient être finalement assez simples.



Bhuj : un immeuble avec un rez de chaussée transparent qui s'est très bien comporté

J'en retiens aussi que pour ces deux défauts particuliers une politique de prévention à priori pourrait s'envisager avec un coût raisonnable : renforcer des poteaux dans un rez de chaussée transparent ou conforter des appuis en toiture, sans avoir à toucher à l'intérieur d'un logement, cela n'a pas un coût disproportionné. En tout cas en Inde, c'était aussi devenu l'opinion des pouvoirs publics mais malheureusement a posteriori : en effet, après le séisme on trouvait dans la presse des encarts publicitaires incitant les copropriétés à renforcer les structures des rez de chaussée, et ces encarts donnaient même des détails de ferrailage.

Des choses simples

Toujours dans le registre des choses simples, deux exemples pourront illustrer mon propos.



Lodai (60 km de l'épicentre) : une école en construction

Premier exemple, une école à Lodai. Pour situer le contexte, le village de Lodai, au nord de Bhuj, était totalement détruit. Pourtant à la limite du village, l'école qui était en cours de finition semblait en bon état. Mais en nous approchant nous avons pu constater que toutes les salles de classes étaient endommagées, la maçonnerie ne comportant aucun chaînage vertical. Par contre, dans un patio intérieur une colonnade en

béton, très irrégulière et supportant une dalle plutôt lourde, était parfaitement intacte. Je suis intimement persuadé qu'avec des chaînages verticaux dans tous les angles et en encadrement des ouvertures, les salles de classes seraient aussi intactes que la colonnade intérieure et qu'ainsi l'école aurait pu être utilisée.

Deuxième exemple, un ensemble d'habitation à Bhuj près de l'aéroport. Au premier abord, ces petits immeubles de 2 niveaux nous avaient semblé intacts. Mais en nous approchant, nous nous sommes rendu compte que plus personne ne les habitait car ils étaient bien endommagés. Comme une partie de cet ensemble était encore en chantier, nous avons pu constater que pour ces petits immeubles construits avec des blocs de grès rose, il n'y avait de chaînage vertical qu'aux angles extrêmes de la construction et aucun dans les angles internes ni en encadrement des trumeaux. Là aussi, je suis persuadé qu'avec des chaînages verticaux dans tous les angles et en encadrement des ouvertures, ces immeubles se seraient très bien comportés et seraient encore habités.



Bhuj : ensemble d'habitation près de l'aéroport

Ce qui me conforte encore plus dans cette opinion, c'est qu'à Bhuj on trouvait aussi des immeubles en construction bien chaînés et qui ont parfaitement résistés.



Bhuj : un immeuble en chantier

En partant de ces deux exemples, et surtout du premier qui concerne un bâtiment public, on peut s'interroger sur l'existence des règles de construction parasismique qui étaient applicables au secteur.

Indian Standards

En fait, en Inde, il existait des règles de construction parasismique développées par le Bureau of Indian Standards et notamment :

- IS 1893 (de 1984) : Criteria for Earthquake-Resistant Design of Structures
- IS 4326 (de 1993) : Earthquake-Resistant Design and Construction of Buildings – Code of Practice
- IS 13827 (de 1993) : Improving Earthquake Resistance of Earthen Building – Guidelines (pour le renforcement des constructions en terre)
- IS 13828 (de 1993) : Improving Earthquake Resistance of Low Strength Masonry Building – Guidelines (pour le renforcement des constructions en maçonnerie)
- IS 13920 (de 1993) : Ductile Detailing of Reinforced Concrete Structures subjected to Seismic Forces – Code of Practice

Mais avant le séisme du Gujarat, ces règles n'étaient que des recommandations. Une des conséquences du séisme, c'est que ces recommandations sont devenues depuis des obligations.

Sans rentrer trop dans le détail, ce qui déborderait largement du cadre de ce rapport, il me semble quand même important pour permettre des comparaisons avec la France de donner quelques indications sur ces règles, tout particulièrement sur l'IS 1893.

Du point de vue sismique, le territoire indien est décomposé en 5 zones. Bhuj et le district de Kutch étaient classés en zone V, la plus élevée comme l'Himalaya. Un séisme d'une telle ampleur n'était donc pas une surprise. Ahmedabad était classé en zone III.

Pour fixer les idées, le tableau suivant donne les accélérations nominales correspondantes avec en regard les zones de la classification française :

Inde		France		
Zone	Accélération en g	Zone	Accélération en g	Ville
V	0.40	III	0.35	Guadeloupe Martinique
IV	0.25	II	0.25	Lourdes Manosque Nice
III	0.20	Ib	0.15	Annecy Grenoble Strasbourg
II	0.10	Ia	0.10	Nantua Gap
I	0.05			

Sur la base de ce tableau, on peut dire que Bhuj correspondrait chez nous à la Guadeloupe ou à la Martinique, et qu'Ahmedabad se situerait entre Nice et Grenoble. Ce que nous avons vu pourrait donc se produire chez nous.

Pour le reste l'IS 1893 est assez proche de nos pratiques avec toutefois un sens de la simplicité beaucoup plus développé qu'en France. Par exemple, quand nous définissons 4 classes de bâtiment A, B, C, D en faisant varier avec délice l'accélération nominale en fonction de la classe et de la zone d'une manière non proportionnelle, les Indiens définissent un facteur d'importance I, valable pour toutes les zones avec les bases simples suivantes :

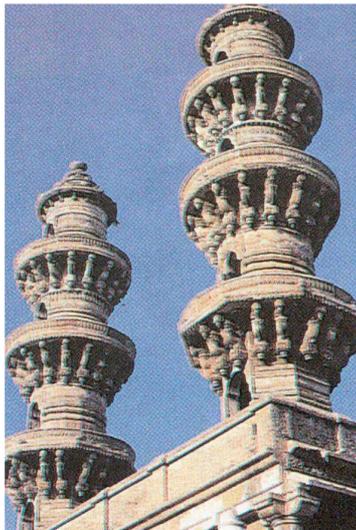
- I = 3.0 pour les barrages
- I = 2.0 pour les réservoirs de produits toxiques ou inflammables
- I = 1.5 pour les services importants tels qu'hôpitaux, châteaux d'eau, écoles, ponts, bâtiments administratifs importants, bâtiments de secours, cinémas (en un mot tous les bâtiments publics)
- I = 1.0 pour tous les autres

De la part de tous les interlocuteurs que nous avons rencontrés, nous n'avons entendu aucune critique sur ces règles. Mais bien sûr, tous trouvaient regrettables qu'elles n'aient été que des recommandations non obligatoires avant le séisme. En fait, c'est d'autant plus regrettable que l'Inde a une grande tradition, et on pourrait dire une grande culture sismique.

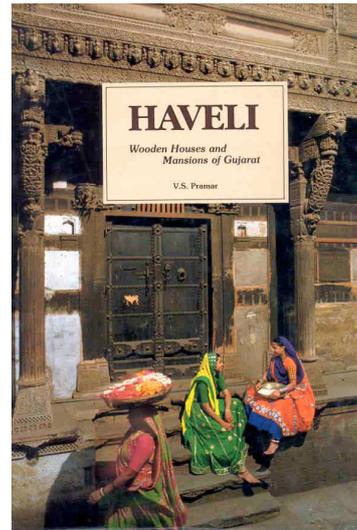
Le palais et la masure : une culture sismique ?

Quelques faits peuvent l'attester. Dans les guides touristiques, à la rubrique Ahmedabad, on trouve ceci : *"Mosquée de Sidi Bashir, dite Shaking Minarets. C'est l'une des curiosités de la ville, grâce à ses deux minarets oscillants, joliment ornés de sculptures et de balcons circulaires. Ces deux tours sont d'ailleurs avec le mausolée qui lui fait face, tout ce qui reste de la mosquée, détruite par un tremblement de terre au XIX° s. Les minarets doivent leur qualificatif au fait que, lorsque du balcon supérieur on provoque un mouvement de balancier sur l'un, l'autre se met aussitôt en branle. On ignore comment fut conçu ce dispositif, mais on peut imaginer qu'il y a là une recherche de protection antisismique. Preuve en est la survie des minarets.*

Dans le faubourg de Gomtipur, au-delà de la voie ferrée, la mosquée de Raj Bidi est pourvue de deux minarets qui présentent la même caractéristique, à ceci près que l'une des deux tours fut en partie démolie dans l'espoir d'y découvrir une explication à cette énigme."



Ahmedabad : the Shaking Minarets



Haveli : le livre des constructions en bois du Gujarat

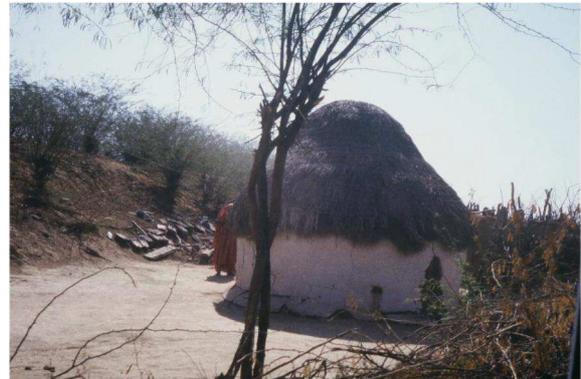
Autre élément, dans un livre de V.S. Pramar sur les très belles constructions en bois du Gujarat, j'ai trouvé des commentaires convaincants sur le développement de ce type de construction pour des raisons de résistance au séisme. Sur la base de considérations archéologiques, l'auteur fait remonter l'origine de ces techniques à 2300 ans avant Jésus Christ. Pour celui dont nous parlions au début, celui *"qui sait ordonner le temps, dont les rythmes régissent l'harmonie de l'Univers"*, plusieurs millénaires c'est sans doute une période respectable.

Bien sûr dans le cadre d'une courte mission, nous n'avons pas eu le temps (nous n'avons peut-être pas su ordonner le temps) pour approfondir ces questions qui seraient presque le sujet d'une thèse d'archéologie. Mais quand même dans nos pérégrinations, nous avons rencontré parfois des éléments saisissants comme à Drangadhra dans l'ancien palais d'un Maradjah, le clavetage des pierres du garde corps de la terrasse, une disposition peu courante, mais excellente en cas de séisme.



Drangadhra : dans un ancien palais de Maradjah le clavetage des pierres du garde corps de la terrasse

Et aussi, à l'autre bout de l'échelle sociale, mais tout près de l'épicentre, une hutte traditionnelle qu'on appelle ici bungo et qui a parfaitement résisté au séisme pour nous rappeler la sagesse ancestrale du désert. Le palais et la mesure, les deux extrémités d'une grande culture sismique, qui malheureusement se serait un peu perdue ?



Le palais et la mesure : les deux extrémités d'une grande culture sismique ?

Retour à Ahmedabad : l'architecture des promoteurs, l'architecture des architectes

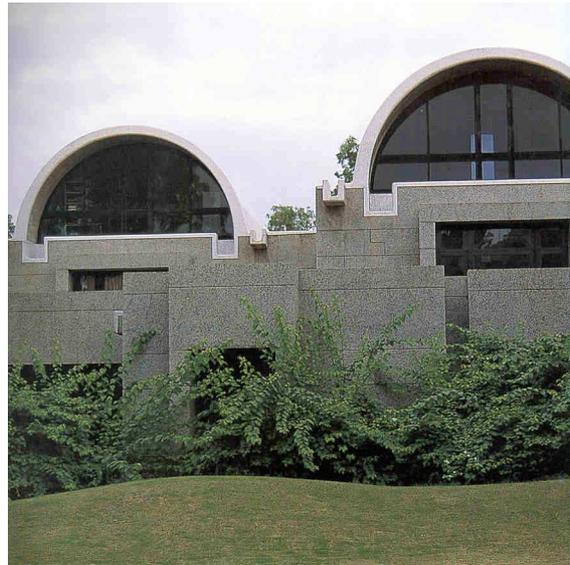
Nous terminerons notre mission en retournant à Ahmedabad où nous aurons l'occasion de rencontrer Shah Snehal un architecte indien renommé. Pour le situer un peu, on peut signaler qu'il a travaillé pendant deux ans en Europe chez Mario Botta et qu'en ce moment il réalise, toujours avec Mario Botta, un projet très important à New Delhi pour la firme Tata.

Pour situer aussi le milieu architectural et culturel du Gujarat, on peut rappeler qu'Ahmedabad est un haut lieu de l'architecture contemporaine de l'Inde depuis l'indépendance : Le Corbusier y a réalisé 4 bâtiments, Louis Kahn y a édifié un de ses chefs d'œuvre, l'Indian Institute of Management, et Balkrishna Doshi, un des plus grands architectes indiens actuels, y réside et y travaille.



Ahmedabad : les bureaux de Shah Snehal

Lors de la conversation que nous aurons, Shah Snehal sera assez fier, et à juste titre, de nous faire visiter ses bureaux, absolument impeccables, sans une fissure, en nous expliquant qu'ils avaient été calculés au séisme pour la zone III, suivant la recommandation indienne. Il nous expliquera aussi que les cinquante immeubles qui se sont totalement effondrés à Ahmedabad n'avaient pas été calculés suivant les Indian Standards, dont l'application n'était pas obligatoire, mais que pour lui il s'agissait "d'architecture de promoteur" et non pas d'une "architecture d'architecte".



Ahmedabad : Balkrishna Doshi, Gandhi Labour Institute

Au sortir de cette conversation, je vais visiter le Gandhi Labour Institute de Balkrishna Doshi, impeccable, et l'Indian Institute of Management de Louis Kahn, un bâtiment un peu plus ancien de 1963, où tous les éléments structuraux ont bien résistés, seuls quelques éléments de corniches sont endommagés, ils sont d'ailleurs en cours de réfection.

Et tout cela me renforce dans mon idée qu'il n'y a pas d'architecture parasismique, il y a juste l'architecture tout court. L'architecture qui suivant l'idéal de Vitruve, recherche depuis toujours la beauté, la commodité et la solidité : proportio, commoditas, soliditas.



Ahmedabad : Louis Kahn, Indian Institute of Management

En guise de recommandations

Pour terminer, je ne donnerais surtout pas de recommandations pour nos amis indiens. Leur civilisation est bien plus ancienne que la notre, leur expérience sismique plus vaste, et il serait tout à fait présomptueux de ma part de vouloir donner des leçons.

Non en fait, la réflexion que je voudrais développer serait plutôt à notre usage. En effet, il me semble que le problème fondamental du génie parasismique à l'heure actuelle, n'est plus tellement de produire des connaissances, des règlements ou des codes sophistiqués. Il est plutôt de diffuser ces connaissances, de les rendre applicables et de les voir appliquées. Et pour être effectivement appliqué, tout cela doit rester simple et pragmatique. Telle serait peut être la leçon indienne à tirer d'un séisme.