

ARCHITECTURE URBANISME

Marc Givry Architecte

Bienvenue à Armenia

Bienvenidos a Armenia Ciudad Milagro de Colombia (Bienvenue à Armenia Ville Miracle de Colombie), c'est par ces mots que la pancarte à l'entrée d'Armenia nous accueille. Et après la pancarte, la ruine, ou plutôt les ruines.

En France, la presse de reportage avait titré *L'apocalypse est tombée sur Armenia*, mais je pensais qu'il y avait dans ce titre un peu d'exagération journalistique. J'avais tort, la réalité se situe à ce niveau. D'ailleurs plus tard, des Colombiens nous parleront du séisme comme d'un désastre quasi biblique.

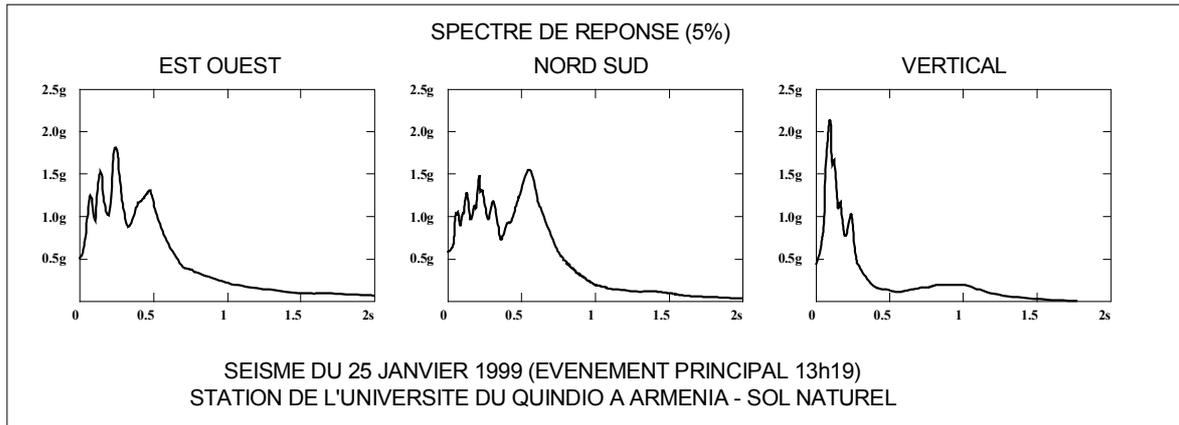
Partout des bâtiments endommagés, détruits, des gravats, des effondrements. Par moments, ce n'est même plus de la destruction ou de l'effondrement, c'est du broyage, du concassage.



1 - Bienvenue à Armenia

Pourtant si nous sommes très impressionnés du spectacle nous ne sommes pas totalement surpris. En effet en arrivant à Bogota nous avons rencontré des sismologues d'INGEOMINAS qui nous avaient présentés un accélérogramme du séisme enregistré à Armenia à la station de l'université du Quindio.

Si on examine le spectre de réponse tiré de cet accélérogramme, on se rend compte que dans le plan horizontal, aussi bien dans le sens nord-sud que dans le sens est-ouest, pour des périodes peu élevées, inférieures à 0.7 secondes, on trouve des pointes supérieures à 1.5 g (1 g correspondant à l'accélération de la pesanteur habituelle).



De plus dans le sens vertical, pour une période d'environ 0.2 secondes, on trouve une pointe supérieure à 2 g (pour donner une interprétation sensible et imagée de ces valeurs, supposons une personne de 60 kg qui recevrait une gifle de 90 kg à droite, la même à gauche, avec un aller-retour très rapide, pareil dans le sens avant arrière, et qu'en plus on jetterait au plafond plusieurs fois de suite).

L'importance de la composante verticale s'explique par la proximité et la faible profondeur du séisme. Le foyer du séisme a été situé à 12 km au sud d'Armenia et à 15 km de profondeur, la composition de ces deux paramètres faisant apparaître pour la zone proche une incidence très inclinée. De la sorte, bien que d'une magnitude de 6.2, du fait de sa proximité et de sa faible profondeur, le séisme a été très destructeur.

Pour comprendre ces chiffres, il faut aussi donner quelques indications sur la période fondamentale des bâtiments. Les règles de calcul parasismiques colombiennes donnent la période fondamentale T , en seconde, d'un immeuble en fonction de sa hauteur H , en mètre, avec les formules suivantes :

$T = 0,08 H^{3/4}$ si la stabilité est assurée par des portiques en béton armé

$T = 0,05 H^{3/4}$ si la stabilité est assurée par un système de murs

Le tableau suivant donne quelques résultats pour des immeubles de 1 à 20 étages, avec une hauteur moyenne d'étage de 3m :

Nombre d'étages	Hauteur en m	T en s Portique	T en s Murs
20	60m	1.72s	1.08s
15	45m	1.39s	0.87s
10	30m	1.03s	0.64s
5	15m	0.61s	0.38s
4	12m	0.52s	0.33s
3	9m	0.42s	0.26s
2	6m	0.31s	0.19s
1	3m	0.18s	0.11s

Avec de telles valeurs, toutes les destructions que nous voyons ne sont donc pas étonnantes. Manifestement, les constructions basses ont été les plus touchées, les structures plus élevées, donc plus souples et avec une période plus haute, s'étant mieux comportées. Dans les quartiers totalement détruits, les poteaux électriques sont souvent intacts, même quand ils supportaient des charges élevées comme des transformateurs.

Dans le centre, des immeubles plus élevés se sont aussi effondrés. On nous a même montré un immeuble de 15 étages totalement *colapso*, pour employer le terme localement en vigueur.

Mais là aussi, peu d'étonnement. Partout, le même diagnostic, des ossatures trop faibles et un ferrailage très insuffisant : dans les gravats on ne retrouve que des aciers lisses et très peu d'étriers.

Dans la liste des bâtiments *colapso*, il faut citer la caserne des pompiers, le commissariat de police, *l'alcaderia* (la mairie) et le central téléphonique.

A la limite, dans certains cas, ce qui est étonnant, ce n'est pas ce qui est par terre, mais ce qui est debout, et qui apparemment, n'a aucune raison particulière d'avoir résisté.

En fait, sur le plan de la sollicitation sismique, il y a manifestement une très forte dispersion : comme dans une tempête en mer, il y a des vagues plus hautes que d'autres, des effets de ressac, d'écho, une dispersion chaotique. Une constante toutefois, les immeubles d'angle sont dans l'ensemble plus touchés.

Sismoresistente ?

Mais il ne faut pas exagérer, tout n'est pas détruit. A proximité du centre, une banderole sur des immeubles en construction proclame fièrement *SISMORESISTENTE*, une autre banderole indique que le bureau de vente est ouvert.



2 – Pendant le séisme la vente continue

Ces immeubles *sismoresistentes* nous permettent de nous familiariser avec la technique de construction dominante en Colombie. Dans la plupart des cas les bâtiments sont construits avec une ossature en béton armé et un remplissage en brique.

Le plus souvent, l'ossature de type poteaux-poutres est montée en totalité, tout le remplissage ne venant qu'après. Pour le remplissage, il faut signaler que toutes les briques, en cloisons ou façades, sont montées sans un gramme d'acier : pas de raidisseur, pas de chaînage et aucune attache avec l'ossature.

Pour en revenir à nos immeubles *sismoresistents*, ils semblent s'être plutôt bien comportés. Comme il s'agit d'un ensemble, un *condominium*, nous pouvons voir tous les états de la construction, depuis la carcasse jusqu'à l'immeuble achevé.



3 – Ossature et remplissage

Pour ces immeubles, nous n'avons pas constaté de désordres structurels, c'est à dire concernant des éléments d'ossature en béton armé. Par contre on trouve des façades ou des cloisons fissurées, et surtout des espèces de frontons sur les terrasses qui ont joyeusement voltigés.

Vu de plus près, ces frontons, qui ne présentent pas l'ombre d'un chaînage ni d'une attache, ne sont que des briques empilées (en parodiant Adolf Loos qui, au début du siècle pour lutter contre le décorativisme du XIX^e, avait écrit "l'ornement est un crime", dans une zone sismique on pourrait rajouter "l'ornement non attaché est un double crime").

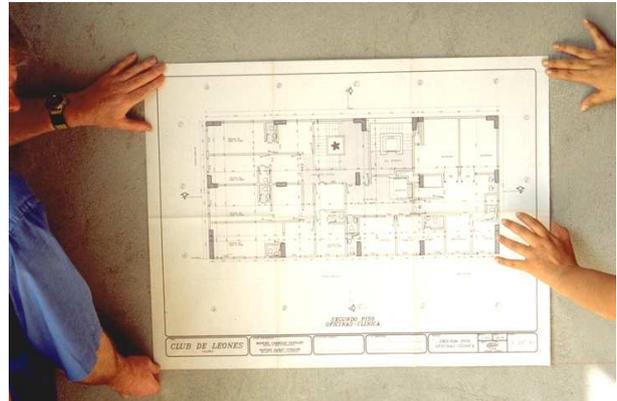
Club de Leones

Nous aurons par la suite l'occasion de faire le même type de constatation sur un immeuble à Calarca : le Club de Leones.

Calarca est une ville d'environ 10 000 habitants. Très proche d'Armenia, elle a subi aussi d'important dégâts (à titre d'exemple le centre commercial a été complètement détruit).

Dans cette ville, nous aurons l'occasion de visiter de fond en comble un immeuble récent, le Club de Leones. En fait, un immeuble plus que récent : il venait d'être terminé et n'avait jamais été occupé avant le séisme.

Conçu par l'architecte Rafael Alberto Garay, cet immeuble avait été construit en appliquant les règles les plus récentes de construction parasismique colombienne, les NSR-98.



4 – Le Club de Leones à Calarca

Comprenant 6 niveaux sur un sous sol, cet immeuble avait une occupation diversifiée : parking en sous-sol, trois niveaux d'activités dont une clinique ophtalmologique, trois niveaux de logements. De la sorte, la distribution et le plan changeaient à chaque niveau.

Lors de notre visite, nous disposions des plans de l'immeuble prêtés par l'architecte. Ces plans furent pour nous une aide très appréciable. En effet, l'immeuble présentait quelques dégâts apparents en façade (fissures, éclatements, rupture en croix de trumeaux ...) et surtout à l'intérieur (fissures diverses, effondrement d'une paroi de la gaine technique...), mais en consultant les plans, nous pouvions nous assurer que ces désordres ne touchaient jamais d'élément structurel et que la stabilité du bâtiment n'était pas en cause.

En fait lors de cette visite, nous nous sommes retrouvés dans la situation des services qui doivent faire un diagnostic immédiatement après un séisme. En effet, dans ces circonstances, il est très important, voir vital, de répondre à la question : dangereux ou non ?

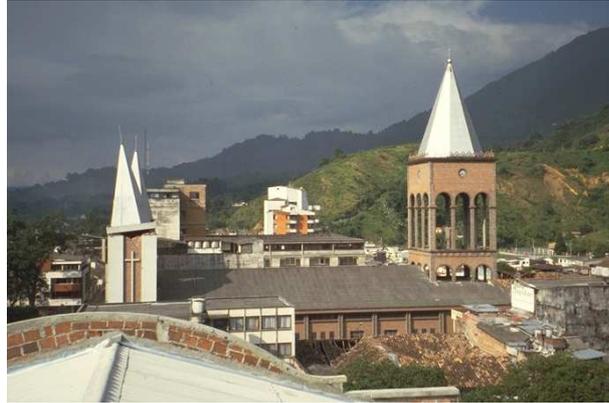
D'un côté, ne pas procéder à l'évacuation d'un immeuble fragilisé, cela peut présenter de graves dangers : lorsque nous étions à Armenia, 1 mois après le séisme il y avait eu 140 répliques et pendant notre séjour, 4 immeubles se sont encore effondrés. Mais de l'autre côté, vider inutilement un immeuble n'est pas non plus sans conséquences : dans le cas du Club de Leones, il s'agissait, entre autres, d'une clinique ophtalmologique, dont l'activité médicale aurait pu s'avérer primordiale.

Ce diagnostic post-sismique doit toujours se faire très rapidement. Dans ces conditions, disposer d'un plan, même schématique, permettant de distinguer la structure portante du remplissage, est une aide très appréciable. Malheureusement, c'est très rarement le cas, mais nous reparlerons de ce sujet plus loin.

Esprit de clocher

Pour l'instant, restons à Calarca, ce qui nous permet de parler de l'église et de ses clochers, telle que nous les voyons depuis le toit du Club de Leones.

En effet, l'église de Calarca a trois clochers, en fait un clocher et deux clochetons. Le clocher principal, le plus élevé, et qui semble le plus fragile avec ses colonnettes élancées, est intact.



4 – Les clochers de Calarca

Par contre un des deux clochetons, qui est plus trapu et qui semble plus résistant, est rompu à la base de la flèche. La flèche est basculée, prête à tomber. Au sol, un lit de sable d'un mètre d'épaisseur, mis en place par précaution, attend sa chute.

Cette disparité des désordres illustre bien l'importance de la période d'une structure par rapport aux efforts subis : la structure la plus élancée, la plus souple et donc avec la période la plus élevée, s'est mieux comportée qu'une structure plus raide avec une période moindre. Nous retrouverons souvent ce phénomène sur d'autres clochers. Bien souvent les clochers sont construits avec une ossature en béton armé et un remplissage en brique.



5 – Clochers à Armenia, Salento et Barcelona

Pendant le séisme, les remplissages en brique se sont détruits et ont voltigé, mais les clochers, assouplis par cette disparition du remplissage, sont restés intacts. Nous avons pu constater ce mécanisme à Salento, à Armenia sur un clocher dont le remplissage avait complètement disparu, ainsi qu'à Barcelona, une petite ville de plusieurs milliers d'habitants, située près de l'épicentre du séisme.

A Barcelona, on nous a d'ailleurs indiqué que la cloche s'était mise à sonner toute seule pendant le séisme. Dans cette ville, en raison de la proximité de l'épicentre, les dégâts ont été très importants : l'*alcaderia* (la mairie), les *bomberos* (les pompiers), l'école et presque tous les autres bâtiments ont été détruits.



6 – Barcelona : à l'épicentre du séisme, l'école détruite, la police intacte

Mais paradoxalement, le bâtiment de la police, pourtant situé plus au sud, quasiment à l'épicentre du séisme, était totalement intact. Il s'agissait d'un bâtiment tout neuf qui venait d'être réalisé en conformité avec la réglementation : une belle illustration de la qualité des normes parasismiques colombiennes.

Un peu de distance

On pourrait retirer de cette histoire de clocher, qu'une bonne conception parasismique voudrait que l'on s'efforce de modifier la période des immeubles pour ne pas se situer dans les zones d'amplification.

Malheureusement, l'exercice a ses limites, l'amplification des sollicitations sismiques ne se situant pas toujours dans les mêmes périodes.

La ville de Pereira peut donner une bonne illustration de cette problématique. Située à 30 km au nord d'Armenia, à 45 km de l'épicentre, Pereira a été touchée par le séisme du 25 janvier 1999. Les dégâts importants se sont surtout concentrés sur des constructions peu élevées de 1 à 4 niveaux.

En 1995, Pereira avait déjà subi un séisme important. Ce séisme, d'une magnitude de 6.5, avait un épicentre situé à 135 km de distance et 100 km de profondeur (pour mémoire, les chiffres du séisme du Quindio de 1999 sont : magnitude 6.2, distance épicentrale 45 km, profondeur 15 km). Ce séisme de 1995 avait affecté à 90% des immeubles de 7 à 10 étages.

On peut admettre qu'en 1995 les périodes "dangereuses" se situaient entre 0.7 et 1 seconde, et qu'en 1999, il fallait éviter d'être en dessous de 0.5 secondes.

Avec de telles fluctuations il est difficile d'avancer des recommandations constructives applicables sur les périodes et les types d'immeuble à éviter ou à privilégier. Mais par contre à Pereira, ce que les Colombiens appellent la *microzonificacion* m'a semblé tout à fait pertinent (en France on emploie le beau jargon de microzonage).

Tirant les leçons du séisme de 1995, les services de Pereira avaient engagé des études sismologiques et géologiques détaillées pour définir à une échelle fine des zones sismiquement homogènes. Sachant que suivant la nature du sol et du sous-sol, les sollicitations sismiques peuvent varier du simple au double, voire du simple au quadruple, ce type d'étude ne manque pas d'intérêt pour les constructeurs, à la fois sur le plan de la sécurité que sur celui de l'économie (depuis 1998 et les règles NSR-98, les études de *microzonificacion* sont obligatoires pour les cités de plus de 100 000 habitants).

A Pereira, les études avaient abouti et le séisme de 1999 les a bien confirmées : la carte des désordres et des dégâts effectivement constatés recouvre bien la carte des zones d'amplification de la *microzonificacion*. En particulier, un secteur, le secteur du collecteur, concentre une grosse partie des dégâts : il s'agit en fait d'une ancienne rivière couverte de 10 à 15 m de remblais, qui a donné des amplifications avec un facteur de 6 à 7, mais qui était parfaitement identifiée.

Les études de *microzonificacion* sont donc considérées comme fiables et une des premières décisions prises à Armenia après le séisme a été d'engager immédiatement une étude de ce type avant tout projet de reconstruction.



7 – Pereira : à quelques centaines de mètres, la résistance et la ruine

Diagnostic post sismique

Autre constat fait à Pereira, la maîtrise et le bon fonctionnement des services. Instruits de l'expérience de 1995, tous les services étaient préparés à ce type de situation.

J'ai noté plus particulièrement deux éléments.

Tout d'abord, l'ampleur des diagnostics post-sismiques. A Pereira, pour une population de 400 000 habitants et d'environ 100 000 habitations, il y a eu 6 000 constructions endommagées et donc 6 000 expertises à réaliser.

Lorsque nous étions sur place, un mois après le séisme, 3 500 constructions avaient été expertisées. Sur ces 3 500, 1 500 avaient été classées rouge, dont 350 étaient totalement *colapsadas*.

Dans le système de classification employé, rouge signifie "à démolir", orange "réparable mais à évacuer", jaune "habitable avec précaution" et vert "sans dommage".

Orange et jaune recouvrent en fait les dégâts non structurels, qui ont été assez importants. En effet, avec le système de construction par ossature et remplissage, le remplissage en brique simplement posé sans aucune liaison avec l'ossature est assez vulnérable : les immeubles "intacts" mais avec des parties de façade béantes n'étaient pas rares dans le paysage.



8 – Pereira : désordres non structurels

D'autre part, le remplissage est souvent bloqué dans la structure et comme la tolérance au déplacement n'est pas la même il est normal que le remplissage éclate. En général la *deriva maxima*, c'est à dire le déplacement différentiel entre deux niveaux, est limitée à 1% pour des portiques en béton, mais un mur en brique éclate avec une dérive de 0.2%. Toutefois cela est considéré comme normal par les Colombiens qui estiment que refaire des remplissages non armés après un séisme n'est pas très grave. Dans la nouvelle réglementation, il y a néanmoins des dispositions d'attaches et de joints à respecter pour les remplissages, mais uniquement pour les façades afin d'éviter la chute d'éléments sur le domaine public.

Les enquêtes d'évaluation, au début, ont été réalisées par des bénévoles avec la coordination de 22 ingénieurs et sur la base d'un questionnaire type qui était déjà prêt, établi à la suite du séisme de 1995. D'une manière générale, l'enquête technique était groupée avec une enquête sociale permettant le recensement des sinistrés (les

damnificados pour employer un vocabulaire terriblement évocateur) et de programmer les aides à apporter concernant l'alimentation, les soins, les enfants ...

En cas de dommage important, il y avait systématiquement une contre visite réalisée par un ingénieur civil pour les bâtiments de moins de 2 étages, et un ingénieur *estructurista* pour les autres. La première enquête, permettant de remplir le questionnaire, durait environ 20 à 30 minutes par bâtiment. La contre visite s'effectuait en 2 heures.

Avec des délais aussi bref, imposé par l'ampleur des diagnostics à réaliser, nos interlocuteurs regrettaient de n'avoir eu aucun plan des bâtiments.

Dernier point, en cas de contestation sur un classement "rouge à démolir", le propriétaire doit présenter un programme de travaux pour rendre conforme l'immeuble à la réglementation, programme attesté par un ingénieur qualifié. Mais, apparemment les cas de contestations ont été rarissimes.

Planeacion

Un autre élément qui m'a impressionné, c'est la qualité de la réflexion urbaine, ce que les Colombiens appellent *planeacion*.

Il y a, depuis la colonisation espagnole, une véritable tradition et l'Espagne a toujours été très en pointe pour la maîtrise urbaine. Au passage, on peut rappeler que le mot "urbanisme" a été inventé à la fin du XIX° par l'edelfonso Cerdà, ingénieur et cartographe qui sera l'auteur du plan d'extension de Barcelone en 1867.

Dans la Nouvelle Grenade, le vice-royaume qui a précédé la Colombie, fonder une ville c'était créer d'abord la place centrale et établir le plan de la fondation, le plus souvent en damier. Depuis l'indépendance de 1819, la place centrale s'appelle bien sûr Plaza Simon Bolivar, en l'honneur du général Simon José Antonio de la Santísima Trinidad Bolivar y Palacios, considéré encore aujourd'hui comme le messie de l'Amérique du Sud, *El Libertador*.



9 – Place Bolivar à Armenia et Pereira

Quand en France, sur le plan de l'urbanisme on s'occupe du "droit des sols", les plans sont établis sur une base cadastrale, indiquant ainsi le primat de la propriété, en

Colombie les plans sont établis sur une base topographique mettant en avant les rues, les places et la présence de la collectivité.

A ce sujet, une petite anecdote révélatrice : à Armenia, dans un quartier détruit les sinistrés s'étaient installés en campant sur une petite place, qui devait sans doute être la place centrale du *barrio* (du quartier). Les architectes colombiens, qui nous faisaient visiter et qui étaient pourtant très sensibles au sort des *damnificados*, nous ont expliqué que pour ce *barrio*, la tâche prioritaire, avant de déblayer les ruines ou de rétablir l'eau, c'était de pouvoir déplacer les occupants de cette place pour pouvoir la rendre à sa destination.

Armenia et Pereira sont des villes récentes : 1863 pour Pereira et 1889 pour Armenia. Elles ont toutes les deux été créées par des colons venus du nord, de la province d'Antioquia, la plus riche province de Colombie qui fournissait plus de 70% de l'or du pays et dont la capitale est Medellin.

Au passage, on peut signaler qu'Armenia, fondée le 14 octobre 1889 par Jésus Maria Ocampo Toro, doit son nom à une hacienda déjà existante, laquelle avait été baptisée en l'honneur de paysans tués à la même époque par Shakir Baja en Arménie.

Pendant la première moitié du XX^e siècle, les deux villes ont eu un développement assez parallèle. Petites villes coloniales, elles furent d'abord construites dans le style Antioquia, avec des constructions basses d'un niveau sur rez de chaussée. Depuis, elles ont suivi tous les styles et tous les genres du siècle.



10 – Pereira : les styles du XX^e siècle

En 1951, Armenia était la 13^e ville du pays avec 78 380 habitants, Pereira la 8^e avec 112 252. Depuis les deux villes ont un peu divergé. En 1985, si Pereira était toujours la 8^e ville du pays avec 401 632 habitants, Armenia était passée à la 18^e place avec 195 452 habitants.

Ces chiffres font ressortir que la plus grande partie de la construction de ces villes s'est déroulée dans la période 1950-1980, une période où les bâtiments s'avèrent particulièrement vulnérables pour le risque sismique.

Avec une telle tradition et dans un pays "sismique à 100%", il n'est pas étonnant que la cartographie et la planification urbaine soit de qualité, mais aussi que le risque sismique soit pris en compte dans les plans d'aménagement d'une manière intelligente.

Par exemple à Pereira, Jose Jorge Lopez Salazar, responsable du bureau de Planeacion Municipal, nous expliquait que suivant les résultats de la *microzonificacion* les secteurs les plus vulnérables, parce que soumis au risque d'une forte amplification sismique, seraient réservés aux espaces verts.



11 – Armenia, Pereira : vues d'ensemble

Vulnérabilité

Un certain nombre d'études de vulnérabilité ont été faites en Colombie. Une étude très importante a été réalisée à Bogota, mais il y en a eu aussi à Pereira et à Armenia.

Etant donné les circonstances et l'ampleur des destructions, l'étude d'Armenia, faite par l'Université du Quindio, est sans doute la plus intéressante, car il est possible de la confronter à la réalité d'un séisme important. Mais dans le cadre de notre mission, il était encore trop tôt pour que les analyses et les bilans aient pu être faits, tout particulièrement pour les ratios globalisés, du type taux d'endommagement par quartier, taux de blessés et de morts, coûts des dégâts...

Personnellement, je suis assez dubitatif sur ce genre d'études globales qui sont très lourdes à réaliser, dont la pertinence des résultats n'est jamais très sûre et dont on ne sait pas trop quelles conséquences en tirer. Bien sûr, les actuaires des compagnies d'assurances en tirent sans doute des taux de prime, mais je ne connais pas de collectivité qui ait bâti une politique basée sur une telle étude.

En effet, toutes ces études sont basées sur des fonctions de vulnérabilité qui intègrent en entrée la structure, la hauteur, la destination, l'âge, etc... des constructions, et qui délivrent en sortie un taux de dommage, un nombre de blessés ou de morts en fonction de l'intensité du séisme. Outre la précision et la qualité des enquêtes nécessaires, les fonctions de vulnérabilité employées ne sont pas toujours en phase avec le pays ou la zone considérée (en Colombie, ces études utilisent des matrices de dommage et des

logiciels d'origine californienne, mais personne n'a été capable de nous expliquer l'importance respective des facteurs pris en compte).

Dans cette optique, la confrontation de l'étude d'Armenia avec la réalité sera sans doute très intéressante pour valider ou invalider ce type d'approche.

Par contre pour des éléments ciblés, je n'ai aucun doute sur l'utilité de ce type d'étude. A Armenia, l'étude avait indiqué qu'entre autres, les pompiers, la police, l'hôpital étaient des bâtiments vulnérables en cas de séisme.

Le 25 janvier 1999, les pompiers et la police se sont effondrés, l'hôpital, fort heureusement renforcé entre temps, s'est bien comporté et est resté opérationnel.

Une des conséquences d'Armenia, c'est qu'à Bogota une étude de vulnérabilité des 16 casernes de pompiers a été engagée immédiatement, et que pour l'ensemble de la Colombie un délai maximum de 5 ans a été prévu pour revoir la conformité de tous les bâtiments considérés comme stratégiques, par rapport à la dernière réglementation colombienne, la NSR-98.



12 – Pereira : les bomberos

NSR-98

NSR-98 *Normas Colombianas de Diseno y Construccion Sismo Resistente*, c'est ainsi que s'appelle la dernière réglementation parasismique colombienne. Elle fait suite à une première norme, la N 84, établie en 1984 après le séisme de Popayan, dont elle reprend les éléments principaux (avant la N 84, qui fut la première norme colombienne, les bâtiments exceptionnels étaient calculés en s'inspirant des pratiques californiennes, plus particulièrement à partir du document ATC-3-06 *Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings*, dont une traduction en Colombien avait été réalisé par l' AIS).

En fait, plus qu'une simple réglementation parasismique, la norme NSR-98 est un véritable règlement de construction complet, et qui se suffit à lui-même.

En effet, on trouve dans la norme NSR-98 traités aussi bien les règles de construction parasismique, les charges et surcharges, les matériaux (bois, béton, métal) que la protection contre l'incendie, ou l'hygiène et la sécurité.

De la sorte, un ingénieur ou un architecte qui utilise ce règlement n'a pas besoin de se référer à d'autres documents : par rapport à notre réglementation extrêmement copieuse et proliférante, l'ensemble m'est apparu complet, cohérent et maniable. Nous sommes ici très loin de nos pratiques où un règlement ne se suffit jamais à lui-même : chez nous un règlement parasismique renvoie à une règle de calcul qui renvoie à un DTU qui renvoie à une norme de construction qui renvoie à une autre norme qui contredit sans doute quelques règles précédentes, et qui n'est pas nécessairement compatible avec un autre règlement qui lui-même renvoie ... etc. En Colombie, tout est dans la NSR-98.

En fait la Colombie étant un pays totalement sismique, le risque sismique est un risque certain, vécu, attesté et la réglementation se doit d'être opérationnelle.

D'autre part, cette réglementation a été élaborée avec le concours d'un nombre très élevé de personnes et d'organismes : dans la préface 142 personnes et 38 organismes sont cités comme ayant participé aux discussions et aux votes (à titre de comparaison on ne trouve qu'une quarantaine de noms comme membre de la commission de normalisation pour nos PS-MI ou nos PS-92).

Etant le fruit d'un nombre élevé de personnes, dont la plupart sont en situation de construire, il n'est pas étonnant qu'elle soit claire et compréhensible (bien que ne connaissant pas l'espagnol, je n'ai eu aucune difficulté pour la lire et la comprendre. Je n'en dirai pas toujours autant pour tous nos règlements pourtant rédigés en français). On trouve en particulier dans la préface une annexe illustrée sur le *procedimiento de diseno* qui m'a semblé très pédagogique.

En dernier lieu, elle est systématiquement basée sur des données d'expérience. A titre d'exemple, lorsque nous discutons à Bogota avec le professeur Alberto Sarria Molina, qui est un des "pères" de la réglementation parasismique colombienne, et que nous lui demandons comment avait été établie la relation entre la hauteur et la période des bâtiments, il nous a immédiatement présenté un graphique basé sur des mesures in situ des édifices de Bogota.



13 – Rencontre avec le professeur Sarria à l'Université des Andes

Il n'est pas dans mon propos de commenter cette norme dans son intégralité, mais je voudrais en faire ressortir quelques points particuliers qui m'ont semblé intéressants.

Sur le plan sismique, la Colombie est divisée en 10 régions, numérotées de 1 à 10, et 3 *zona de amenaza sísmica (baja, intermedia et alta)*. Les 10 régions ont des accélérations nominales distinctes. Les 3 zones d'aléa sismique (faible, intermédiaire et élevée) se traduisent par des dispositions constructives plus ou moins renforcées.

Le tableau suivant donne les accélérations nominales correspondantes avec en regard les zones de la classification française.

Colombie			France	
Région	Zona	Aa	Zone	Ville
10	Alta	0.45		
9	"	0.40		
8	"	0.35	III	Guadeloupe Martinique
7	"	0.30		
6	"	0.25	II	Lourdes Manosque Nice
5	Intermedia	0.20		
4	"	0.15	Ib	Annecy Grenoble Strasbourg
3	Baja	0.10	Ia	Nantua Gap
2	"	0.07		
1	"	0.05		

Armenia et Pereira sont classés en région 6, *zona Alta*, avec une accélération nominale de base Aa de 0.25 g. A titre de comparaison, en France ce serait la zone II (sismicité moyenne), c'est à dire Lourdes, Manosque ou Nice.

A titre de comparaison aussi, on peut admettre en gros que la *zona intermedia* correspond à notre zone Ib (sismicité faible), et la *zona baja* à notre zone Ia (sismicité très faible mais non négligeable).

Avec l'accélération nominale de base, on se sert d'un coefficient de site S, qui varie de 1 à 2 suivant les profils de sol (S1, S2, S3, S4) et d'un coefficient d'importance qui varie de 1 à 1.3 suivant les bâtiments (1 pour l'occupation normale, 1.1 pour les écoles, 1.2 pour les pompiers, 1.3 pour les hôpitaux), pour définir un spectre *Elastico de Diseno*.

L'un dans l'autre, tout cela est assez proche de nos pratiques.

Par contre ce qui est assez spécifique, c'est qu'il y a, dans la norme, des limitations constructives de hauteur suivant la zone sismique (*alta, intermedia, baja*) et les systèmes de construction en tenant compte des capacités de dissipation de l'énergie.

Les capacités de dissipation de l'énergie se traduisent par 3 classes suivant les dispositions constructives : *especial DES, moderada DMO et minima DMI*.

Toutefois ces limitations ne me semblent pas très contraignantes, par exemple :

- avec des portiques en béton armé ou en acier et des dispositions *especial DES*, la hauteur est illimitée en toute zone

- avec des murs en béton armé et des dispositions *especial DES*, la hauteur est illimitée pour les zones *baja* et *intermedia*, et limitée à 72m en zone *alta*
- avec des murs en maçonnerie renforcée et des dispositions *especial DES*, la hauteur est limitée à 45m en zone *alta*, à 60m en zone *intermedia* et illimitée en zone *baja*
- avec des murs en maçonnerie confinée et des dispositions *moderada DMO*, la hauteur est limitée à 15m en zone *alta*, à 18m en zone *intermedia* et 21m en zone *baja*
- avec des murs en maçonnerie non renforcée, il n'est possible de construire que 2 étages en zone *baja* et que pour de l'habitation

En fait, en adaptant les dispositions constructives en fonction des zones et des hauteurs souhaitées, il est possible de construire ce que l'on veut. De la sorte la norme est à prendre comme un guide pratique pour le choix des systèmes constructifs.

Un autre point spécifique de la norme qui m'est apparu très intéressant, c'est la gestion de l'irrégularité.

En cas d'irrégularité, la norme prévoit une réduction de la résistance R par un coefficient multiplicateur Φ_p pour une irrégularité en plan, et Φ_a pour une irrégularité en élévation, ces coefficients valant 0.9 ou 0.8 suivant les cas.

Du point de vue des méthodes d'analyse à utiliser, la norme indique que l'on peut utiliser la méthode de la force horizontale équivalente pour les édifices suivants :

- tous les édifices, réguliers ou irréguliers, dans la zone d'aléa faible
- tous les édifices, réguliers ou irréguliers, appartenant au groupe I (habitation ou ERP de moins de 200 personnes) dans la zone d'aléa intermédiaire
- les édifices réguliers de moins de 20 niveaux ou de moins de 60m en toutes zones, à l'exception des édifices bâtis sur un sol S4 et ayant une période supérieure à 0.7s
- les édifices irréguliers de moins de 6 niveaux ou de moins de 18m en toutes zones
- les structures flexibles appuyées contre des structures rigides répondant à certains critères

Transposé en France, cela voudrait dire qu'avec la NSR-98, on pourrait calculer simplement, avec une force statique équivalente :

- tous les édifices, réguliers ou irréguliers, en zone Ia (Nantua, Gap, St Rémy de Provence ...)
- tous les bâtiments d'habitation ou les ERP de moins de 200 personnes, réguliers ou irréguliers, en zone Ib (Annecy, Grenoble, Strasbourg...)
- les édifices réguliers de moins de 20 niveaux ou de moins de 60m en toutes zones, à l'exception des édifices élevés et souples, bâtis sur un sol mou, pour lesquels une étude de l'interaction sol-structure devra être faite
- les édifices irréguliers de moins de 6 niveaux ou de moins de 18m en toutes zones

Un autre élément intéressant de la norme est l'obligation d'instrumenter les constructions avec des accélérographes digitaux de mouvement fort (les instruments, à charge des constructeurs, doivent être d'un type approuvé par INGEOMINAS. Le local réservé fait 2m²).

En zone *alta*, les dispositions sont les suivantes :

- 1 instrument pour un ensemble de 20 000m² avec 3 à 10 étages
- 2 instruments pour un ensemble de 20 000m² avec 11 à 20 étages
- 3 instruments (1 en bas, 1 au milieu, 1 en haut) pour tout immeuble de plus de 21 étages
- 1 instrument pour tout ensemble de plus de 200 logements

De telles dispositions, à terme, peuvent fournir des informations très pertinentes. Elles démontrent en tout cas le caractère très pragmatique de la démarche colombienne : ce qui prime avant tout c'est la réalité.

Le dernier point que je souhaiterai présenter concerne les constructions de 1 ou 2 niveaux, qui constituent le titre E de la norme. Ce titre est réservé aux constructions en murs de maçonnerie du groupe I (habitation ou ERP de moins de 200 personnes). Il est très proche de nos PS-MI et les ordres de grandeur sont similaires.

La stabilité est assurée par des murs de contreventement en maçonnerie confinée. La longueur des murs confinés, dans chaque direction, dépend de la zone sismique.

Pour les chaînages verticaux qui s'appellent *columnas de confinamiento*, il est demandé un espacement de 35 fois l'épaisseur, ou 1.5 fois la hauteur ou un minimum de 4m.

Le ferrailage des chaînages est indépendant de la zone sismique. Les diamètres sont similaires aux nôtres (4Ø10 en longitudinal, avec des étriers Ø6 espacés de 200mm en partie courante, les 6 premiers devant être espacés de 100mm). Toutefois, il faut noter que les aciers demandés sont équivalents à nos ronds lisses en Fe E 235, quand nous employons des Fe E 500, ce qui me laisse penser que notre ferrailage est sans doute "confortable".

Nous avons pu visiter à Armenia un lotissement, dont une partie d'ailleurs était en chantier, correspondant à ces normes. L'ensemble, pourtant situé à proximité de zones totalement détruites, s'était parfaitement comporté et nous n'avons noté aucun désordre apparent.

Ce constat correspond d'ailleurs au bilan de la réglementation que tous nos interlocuteurs ont fait. Aussi bien à Armenia qu'à Pereira, toutes les constructions postérieures à 1984 se sont bien comportées. On ne nous a signalés qu'un seul immeuble de cette époque à Armenia ayant eu des désordres graves.

Pourtant, il semble que les sollicitations aient été plus fortes que ce qui était prévu pour la zone. Non pas pour l'accélération nominale de base, mais surtout pour l'amplification du sol, et tout particulièrement pour les périodes peu élevées (à titre d'ordre de grandeur, quand la réglementation donnait une amplification de 2.5 pour la première partie du spectre, il semble qu'il y ait eu une amplification de 4).

En fait, les développements ou les approfondissements prévus de la norme sont les suivants :

- établir un guide didactique pour les constructions de 1 ou 2 niveaux. Ce guide, qui reprendrait le titre E de la norme, viserait à diffuser largement les recommandations de la norme auprès des petites entreprises ou de l'autoconstruction
- élaborer un manuel de renforcement des structures existantes, ce qui est effectivement le problème majeur étant donnée la période de construction du parc immobilier du pays
- réaliser un manuel de construction pour les pentes (travail en cours à Bogota)
- rajouter un nouveau titre consacré aux constructions en bambou

Bambusa Guadua

Bambusa Guadua ou la *guadua*, c'est ainsi que s'appelle le bambou en Colombie. C'est un matériau abondant, tout particulièrement dans la région du café, et qui pousse vite (en 6 ans, il peut atteindre 30 mètres de haut pour un diamètre de 15 à 20cm).

Ce fut le matériau prépondérant de la colonisation. Au début, Pereira et Armenia furent totalement construits en bambou. La plupart des constructions de style Antiochia ont été construites avec ce matériau pour les charpentes et les structures.

Concurrencé par les autres matériaux au XX^e siècle, il avait un peu disparu, mais il revient à la mode, porté par la sensibilité à l'environnement de la fin du siècle. Près d'Armenia, nous avons pu visiter un centre de recherche consacré à la *guadua*, avec des constructions très élégantes.



14 – *Bambusa Guadua* : détails

A Armenia même, on nous a présenté tout un quartier construit en *guadua*. Il s'agissait d'une opération publique d'habitat très populaire, qui s'était parfaitement comporté pendant le séisme. Le contraste avec les quartiers autour, en maçonnerie et totalement ruinés, était particulièrement frappant.



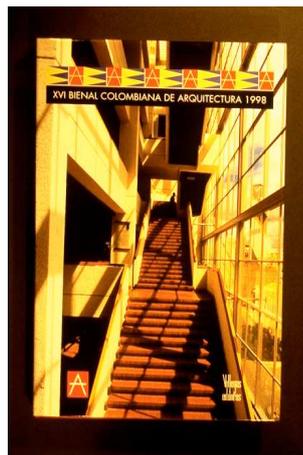
15 – Armenia : un quartier en guadua

Mais je ne suis pas sûr qu'en milieu urbain les constructions en *guadua* puissent être complètement généralisées. En effet, il ne faut pas oublier qu'au début du siècle la ville de Manizales, construite en bambou un peu plus au nord que Pereira mais avec une même typologie, a été détruite deux fois par le feu. Si la maçonnerie et le béton ont pris une telle importance dans les villes, ce n'est peut être pas sans raison : le feu est sans doute plus redouté que le séisme.

Il n'en reste pas moins qu'en milieu rural la *guadua* permet des constructions dont les qualités architecturales sont reconnues. A titre d'illustration, on peut noter que lors de la XVI^e biennale colombienne d'architecture de 1998, un bâtiment en *guadua* a été primé dans la catégorie *diseño arquitectónico*.

Architecture et génie parasismique

Cette XVI^e biennale colombienne d'architecture de 1998 me permet de parler d'architecture. En effet, l'architecture colombienne contemporaine est une architecture renommée dans le monde entier.



16 – Catalogue de la biennale 98 d'Architecture

A titre d'illustration, on peut rappeler qu'en France, en 1981, a été organisée au Centre Georges Pompidou à Beaubourg une exposition dont le titre était "ARCHITECTURES COLOMBIENNES" et le sous titre "Alternatives aux modèles internationaux".

Dans le cadre de ce rapport, il n'est pas possible de développer les spécificités de l'architecture colombienne mais je voudrais juste signaler que dans un pays totalement sismique, une architecture très inventive peut se développer, contrairement aux idées préconçues qui ont cours en France et qui voudraient que le parasismique ne se traduise que par une collection d'interdits. Dans le même ordre d'idée, on peut signaler que l'architecture californienne et l'architecture japonaise sont tout aussi réputées... malgré ou grâce à la sismicité des lieux ?.

Le seul point que je voudrais mentionner concerne l'excellente qualité des relations qui existent entre les architectes et les ingénieurs.

Dans tous les contacts que nous avons eus, nous n'avons jamais entendu de critiques d'une profession contre l'autre. Jamais un ingénieur ne nous a déclaré que "les architectes étaient un peu fous pour pondre des choses aussi tordues", ni un architecte n'a formulé de griefs contre la réglementation ou les "ingénieurs", comme c'est assez courant chez nous.

Une des raisons de cette bonne entente, tient sans doute à la tradition hispanique qui n'a pas connu, comme en France, une coupure aussi tranchée entre l'art et la technique, entre l'Ecole des beaux-arts et l'Ecole des Ponts.

Une autre raison tient sans doute au fait que la réglementation parasismique est perçue comme une nécessité tangible, et non pas comme un prétexte à des calculs mystérieux et plutôt virtuels.

Aussi bien à Armenia qu'à Pereira, nous avons rencontré un beau symbole de cette relation. Il s'agit de la Maison des Architectes et des Ingénieurs qui regroupe sous un même toit la SCA, *Sociedad Colombiana de Arquitectos*, et l' AIS, *Asociacion de Ingenieria Sismica*.

A Pereira, la Maison était installée dans une vieille construction coloniale en plein quartier résidentiel. A Armenia, elle était dans un immeuble du centre ville en plein milieu du désastre: mis à part un escalier étayé, cet immeuble était intact, ce qui pour la crédibilité de ces deux professions n'était sans doute pas plus mal.



17 – La maison des architectes et des ingénieurs à Pereira

Santa Fe de Bogota

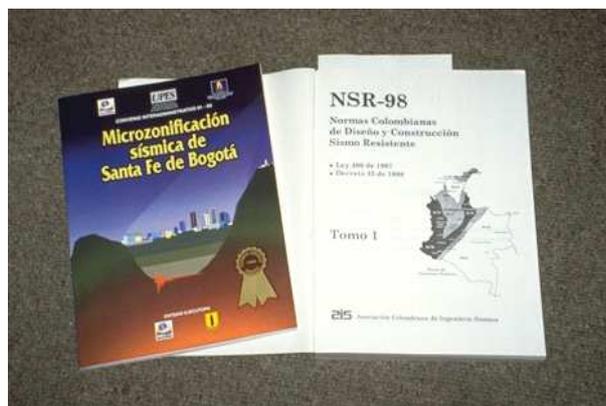
Si à Armenia, nous étions au cœur du désastre, dans une situation qui, un mois après, était encore de l'ordre de l'urgence, si à Pereira nous nous sommes retrouvés à l'heure des inventaires et des bilans, une cordillère plus loin, à Santa Fe de Bogota, j'ai eu l'impression de me retrouver dans une veillée d'arme pré-sismique. A Bogota, un séisme du même type qu'à Armenia est tout à fait possible, et manifestement on s'y prépare activement.

Sur le plan institutionnel, il existe sur le sujet des organismes aux noms révélateurs : au niveau national une *Dirección Nacional Para la Prevención y Atención de Desastres*, et à Bogota une *Unidad de Prevención y Atención de Emergencias de Santa Fe de Bogota D.C.*, en abrégé UPES, récemment renommée *Dirección para la Prevención y la Atención a los Desastres*, DIPAD.

Nous avons eu l'occasion de rencontrer Richard Vargas, le responsable de la DIPAD, dont la clairvoyance, l'ouverture d'esprit et la liberté de ton m'ont impressionné. Manifestement, on trouve en Colombie des gens en prise avec la réalité et même s'ils ironisent parfois sur la capacité de la Colombie à faire des beaux règlements et à ne pas les appliquer, je crois qu'ils ne connaissent pas les capacités françaises en la matière.

En fait, le dispositif mis en place pour la construction m'a semblé très sérieux et je voudrais le décrire avec le regard d'un architecte en situation de construire à Bogota.

Tout d'abord, l'étude de *microzonificación* de Santa Fe de Bogota est disponible. Elle a été réalisée en 1997 par INGEOMINAS (l'équivalent de notre BRGM) et l'Université des Andes. Diffusée sous la forme d'un très beau document, elle a obtenu un prix scientifique en 1998.



18 – Santa Fe de Bogota : Microzonificación et NSR-98 les deux termes de la prévention

Pour le constructeur, elle se traduit par 5 zones avec des spectres différents, les écarts d'accélération entre les zones étant sensibles (par exemple pour une période de 0.5s, l'accélération peut varier de 0.4 à 0.75g, pour une période de 3s elle peut varier de 0.2 à 0.6g).

Sur le plan du permis de construire, il y a d'une part une instruction urbanistique, qui peut faire l'objet de consultation préalable et qui fixe la destination des bâtiments, la hauteur, l'implantation, sur la base d'un plan d'urbanisme très détaillé.

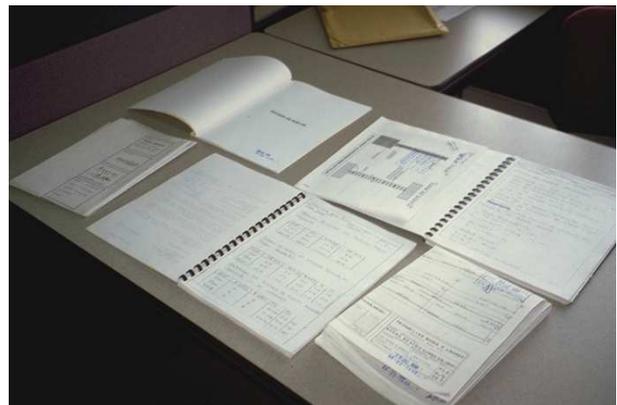
Il y a après une instruction technique vérifiant le respect des dispositions de la NSR-98.

Cette instruction réalisée par des ingénieurs qualifiés se fait sur un dossier complet déposé par l'architecte. Ce dossier comprend :

- une étude de sol réalisé par un bureau qualifié
- les plans d'architecte au 1/50
- les plans de béton armé, coffrage et ferrailage, niveau exécution, réalisés par un ingénieur structure qualifié
- une note de calcul justificative
- les détails de réalisation concernant les façades avec les dispositifs de joints et d'accrochage prévus

En fait ce dossier correspond à nos études d'exécution, et la vérification correspond à ce que font nos bureaux de contrôle.

Nous avons eu l'occasion dans une *Curaduria Urbana* de consulter quelques dossiers, manifestement ils étaient très sérieux.



19 – Un permis de construire à Bogota

Du point de vue de la construction neuve, il semble que la situation soit bien maîtrisée. Mais cette maîtrise parasismique ne se fait pas au détriment de l'architecture, bien au contraire.



20 – Constructions à Bogota

Reste tout le parc existant, une tâche immense. Nous avons vu que pour les bâtiments stratégiques (hôpitaux, pompiers) une démarche avait été engagée.

De même, une réflexion sur la vulnérabilité des réseaux est en cours (à ce sujet, on peut signaler que si à Armenia et à Pereira il n'existait pas de réseau de gaz, la distribution se faisant en bouteille par des petits camions munis d'une belle cloche, ce qui a sans doute sauvé bien des vies, à Bogota il existe un réseau important et les études de vulnérabilité donnent des chiffres du genre 0.693 ruptures au kilomètre, ce qui n'est pas très rassurant).

Sur le plan de la réflexion urbaine, les études de *microzonificacion* et de vulnérabilité ont conduit aux propositions stratégiques suivantes :

- s'efforcer de réduire la densité des zones les plus vulnérables
- relocaliser si possible ou renforcer les bâtiments publics, en priorité les services vitaux
- définir des surfaces d'urgence équipées (parcs, terrains de sport ...) permettant d'accueillir provisoirement les sinistrés après le séisme
- engager les *actividades pre-desastre*, ce que nous appellerions les plans de prévention et de gestion, y compris un volet important concernant l'information du public
- préparer déjà les *actividades pos-desastre*, les secours, la communication, les stocks de vivres, la classification des bâtiments endommagés, les plans d'évacuation, la mise en place des réseaux temporaires d'accéléromètres, les travaux de dégagements et de réparation ...

Manifestement, à Bogota, on prend le risque sismique au sérieux et on se prépare. Dans cette optique, l'expérience d'Armenia et de Pereira est suivie de près. Mais en cas de séisme les problèmes auront une toute autre ampleur : Bogota c'est environ 4 millions d'habitants, et la province du Cundinamarca 8.5 millions, 25% de la population de la Colombie.

Quelques réflexions

Avant de terminer, il me semble important de présenter quelques réflexions voire de me permettre quelques recommandations.

Bien sûr, ces quelques recommandations ne sont pas destinées à la Colombie. Nous avons rencontré trop de gens compétents, riches d'une grande expérience et maîtrisant bien le sujet sous tous ses aspects, pour que je me permette de donner des leçons après un rapide survol d'une quinzaine de jours. Je pense d'ailleurs qu'en matière de génie parasismique nous avons beaucoup à apprendre de la Colombie qui dispose d'une riche expérience.

Non, je voudrais plutôt évoquer quelques éléments qui me semblent intéressants et sans doute transposables en France, si on admet que dans notre pays le risque sismique est quelque chose de sérieux (personnellement, je ne suis pas assez qualifié pour me prononcer sur le caractère "sérieux" de ce risque, mais notre réglementation avec un accélération nominale de 0.25 g situe le risque à Nice au même niveau qu'à Armenia. Ce que nous avons vu en Colombie pourrait donc se produire chez nous).

1. Le premier élément concerne le microzonage, la *microzonificacion*.

Je pense que l'on devrait à tout prix développer ce type d'étude, qui manifestement donne des résultats fiables et pertinents.

Quand des efforts peuvent varier du simple au quadruple suivant les "micros" zones d'une ville, il y a là un gisement de sécurité, ou un gisement d'économie dont on aurait tort de se priver. Il me semble d'ailleurs que les gains que l'on peut retirer d'un plus juste dimensionnement des structures couvre largement le coût de ce type d'étude.

De plus si nous voulions renouer avec l'art urbain, l'art de bâtir les villes, un art que les Colombiens n'ont pas totalement abandonné, le résultat de ces études fourniraient sans doute quelques fondements attestés.

Mais là, je dois être dans le domaine de l'utopie : je ne sais pas, si d'un point de vue culturel, nous sommes capables de dépasser le "droit" des sols qui règle nos POS, nos plans d'occupation des sols, pour renouer avec ce qui devrait être les fondements de la cité. Et j'ai bien peur que pour se donner bonne conscience, on ne rajoute dans les POS une petite couche de parasismique qui sera vécue comme une contrainte de plus, et non pas comme la base d'un urbanisme intelligent.



20 – Pereira : une église (régulière) ruinée, une galerie commerciale (irrégulière) intacte

2. Le deuxième élément vise les normes de construction, les PS 92.

Au regard des règles colombiennes, je trouve que nos règles sont d'une application trop compliquée tout particulièrement pour ce qui concerne les bâtiments dits "irréguliers".

Quand les Colombiens admettent un calcul statique équivalent avec application de coefficients de minoration de 0.8 ou de 0.9 sur la résistance de la structure, nous imposons une analyse modale spectrale, qui fait sans doute la joie des marchands de logiciels, mais dont je ne suis pas sûr qu'elle contribue toujours à la qualité de nos structures, ni à la bonne renommée du génie parasismique.

A titre d'exemple, prenons ce qui est considéré comme un chef d'œuvre du XX^e siècle, la villa Savoye de Le Corbusier. Il s'agit d'une villa d'un étage sur rez de chaussée. Mais comme la configuration en plan et en élévation ne respecte pas les critères imposés, les règles PS-MI ne sont pas applicables.

Prenons donc les règles PS-92. Mais là aussi la villa Savoye n'étant pas considérée comme un bâtiment régulier, ni comme un bâtiment "moyennement" régulier, les méthodes simplifiées ne peuvent s'appliquer, et il faut donc se lancer dans une analyse modale spectrale avec toute la modélisation que cela suppose. Pour une villa individuelle, cela me semble totalement disproportionné.

A l'opposé, prenons les NSR-98 colombiennes. La villa Savoye, même supposée en zone sismique forte et bien qu'irrégulière en plan et en élévation, ne dépasse pas 6 niveaux, ni 18m de haut, on peut donc la calculer avec une force horizontale équivalente en appliquant des minorations sur la résistance de la structure. Ce qui me semble un peu plus approprié.

Sur ce sujet, le vocabulaire employé est assez révélateur. Dans les PS-92, faire un calcul statique équivalent, c'est employer une méthode "simplifiée", ce qui en clair veut dire que la norme c'est le "compliqué". Dans la NSR-98, on vous indique qu'il y a plusieurs méthodes d'analyse reconnues, avec des domaines d'usage différents, mais sans hiérarchie entre les méthodes : en Colombie, la "complication" n'est pas la norme, et de la sorte la norme est bien acceptée, ce qui est peut être moins le cas chez nous.

Cette petite démonstration avec la villa Savoye pourrait aussi se faire avec la maison sur la cascade de Franck Loyd Wright, la maison ronde de Mario Botta ou la quasi-totalité des chefs d'œuvre du XX^e siècle. Il me semble qu'il y à un réel problème.

3. Ma troisième réflexion concerne la prévention.

Toujours si nous estimons que le risque sismique est un risque "sérieux", je pense que nous devrions nous préoccuper de la vulnérabilité des bâtiments importants en cas de séisme tels que les hôpitaux ou les casernes de pompiers, sans doute d'une manière prioritaire par rapport à des études de vulnérabilité plus globalisées et plus générales.

Je pense aussi qu'il serait intéressant de s'engager dans l'instrumentation sismique des bâtiments comme cela se met en place en Colombie. En effet, après chaque séisme on regrette toujours de ne pas avoir plus d'informations sur le comportement réel des structures, et on ne sait jamais si nos dispositions sont proportionnées ou disproportionnées, sauf quand la démonstration se fait par l'absurde, c'est à dire par la ruine, mais fort heureusement, si on se place du point de vue de la vie humaine, et fort malheureusement si on se place du point de vue de la connaissance, c'est plutôt rare chez nous.

4. Ma quatrième recommandation s'applique à la gestion post-sismique.

Nous avons vu l'ampleur des diagnostics post-sismiques à réaliser. Nous avons vu aussi que la disponibilité d'un plan, même très simplifié, mais permettant de faire le partage entre la structure portante et les éléments de remplissage, pouvait être très utile pour la rapidité et la sûreté d'un diagnostic.

De la sorte, je pense qu'il serait judicieux de prévoir ce type de plan pour nos bâtiments. Les plans de sécurité et d'évacuation à l'usage des pompiers font partie de nos pratiques habituelles. Je ne pense pas que de réaliser des plans de structure schématique soit une lourde charge, mais en cas de séisme, je suis sûr de leur extrême utilité. De plus, ces plans pourraient avoir une vertu pédagogique en sensibilisant à la structure et en évitant peut être des transformations malencontreuses.



21 – Pereira : diagnostic post-sismique

Dans le même ordre d'idée, la disponibilité d'une petite fiche de renseignement d'une ou deux pages, comprenant les renseignements que l'on trouve dans les fiches de diagnostic post-sismique (consistance, surfaces, type de structure, fondations, matériaux, hauteur...) serait aussi une aide appréciable dans ces situations. Il est sans doute beaucoup plus simple de préparer calmement ce type de fiche tant que la terre n'a pas encore trop tremblée, que de le faire au milieu des ruines. Bien sûr, pour remplir la partie "dommages" de la fiche, il vaudrait sans doute mieux attendre que le séisme fut venu, quoique, pour certains immeubles on pourrait se poser la question.

5. Ma cinquième et dernière recommandation concerne les échanges Franco-Colombien dans le domaine du génie parasismique.

A la lumière de ce que nous avons vu, il me semble qu'il serait très intéressant de maintenir les contacts et les échanges avec les personnes et les organismes que nous avons pu rencontrer et qui nous ont particulièrement bien accueillis.

Ayant une grosse expérience sismique, la Colombie a sans doute beaucoup à nous apporter. D'un autre côté, les Colombiens sont très demandeurs d'information sur la construction et l'architecture en France.

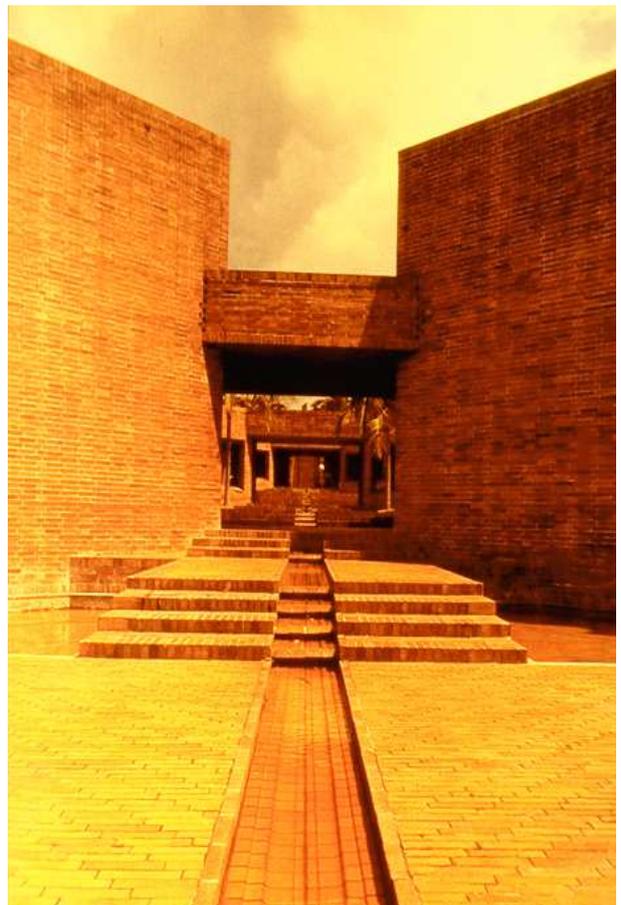
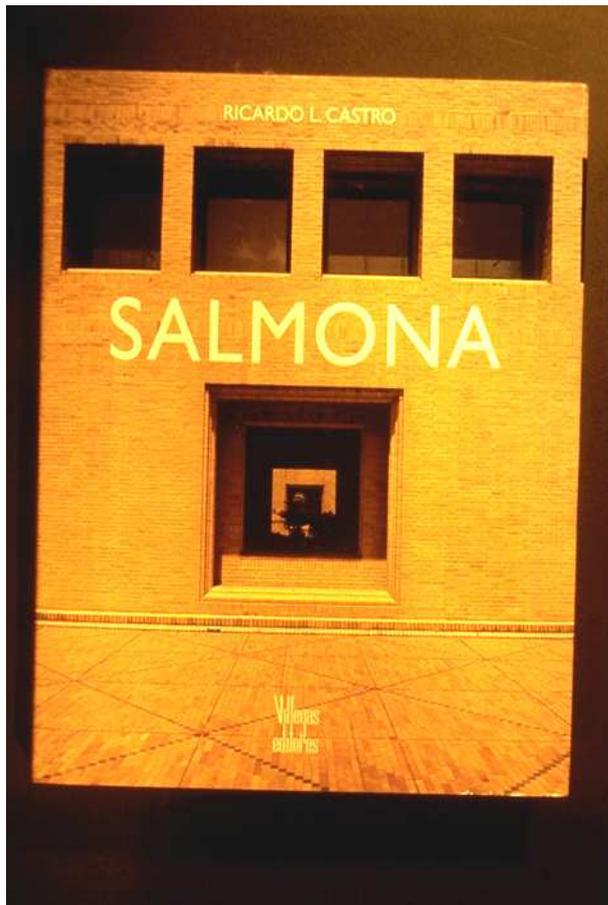
Dans cet ordre d'idée, il me semblerait judicieux qu'une équipe française puisse retourner en Colombie d'ici une année : le bilan du séisme du Quindio aura été tiré, les plans de reconstruction engagés et il y aura sans doute beaucoup à apprendre.

Il me semblerait aussi pertinent que la France puisse accorder quelques bourses d'études à des étudiants colombiens dans le domaine de l'architecture et de l'ingénierie. A ce sujet, nous avons été sollicités par des étudiants en architecture d'Armenia, qui ont été particulièrement mobilisés pendant le séisme et qui souhaiteraient suivre un troisième cycle en France. Etant donné leur expérience vécue d'un séisme, je pense que ce pourrait être un enrichissement pour notre enseignement.

En guise d'épilogue

A Santa Fe de Bogota, juste avant de repartir, nous allons à la Maison des Architectes. A la librairie, j'achète un livre sur Rogelio Salmona, le plus célèbre architecte colombien contemporain.

Dans ce livre je trouve les plans du Museo Quimbaya d'Armenia construit en 1986. J'ignorais que Salmona en fut l'auteur mais nous savions qu'à Armenia la Mairie, *l'alcaderia*, devenue inutilisable après le séisme du 25 janvier 1999 s'était réfugiée dans ce musée.



22 – Rogelio Salmona : le Museo Quimbaya d'Armenia

Qu'un beau bâtiment, construit par l'architecte le plus célèbre du pays, puisse après un séisme abriter une Mairie en déroute, voilà sans doute une belle illustration des excellentes relations que l'architecture et le génie parasismique peuvent entretenir, du moins en Colombie.