

l'effondrement de ces murs de maçonnerie sans support vers l'extérieur, faisant tomber une arche dans sa totalité et en provoquant l'affaissement d'une seconde de quelques mètres à une extrémité. Encore une fois, la conséquence malheureuse d'avoir négligé de fournir un soutien ou des liens pour les murs de maçonnerie non renforcés est clairement évident.

## CONSTRUCTIONS EN BÉTON

Quelques-unes des plus spectaculaires défaillances structurelles dans le tremblement de terre d'Agadir ont été repérées parmi les constructions avec des armatures en béton armé. Dans plusieurs de ces bâtisses, la résistance principale aux forces latérales a été fournie par les murs de remplissage en maçonnerie non renforcée, soit de pierre ou de carreaux d'argile qui étaient construits entre les colonnes et les poutres de béton. Bon nombre des bâtiments d'hôtels et d'immeubles d'appartements les plus récents et de ceux qui paraissent les plus modernes à Agadir a été construit de cette façon, et plusieurs d'entre eux se sont complètement effondrés pendant le tremblement de terre.

Il est difficile dans ces cas de déduire du tas confus de débris qui reste, quel a été l'exact mécanisme de la défaillance, cependant, il sera instructif d'examiner quelques-uns de ces cas.

### *Immeuble Consulaire*



Photo 38 . Immeuble Consulaire vu de la Kasbah, avant le tremblement de terre



Photo 39. Immeuble Consulaire vu du sud avant le tremblement de terre

L'une des plus spectaculaires et les plus dramatiques défaillances structurelles dans la ville d'Agadir a été celle de l'Immeuble Consulaire. C'était un immeuble

de huit étages de bureaux et d'appartements, construit entre 1951 et 1954 ; au moment du tremblement de terre, il hébergeait 300 personnes environ. Son style architectural très attractif est présenté par les photos 38 et 39.

L'effondrement total de cet ouvrage est évident, d'après les vestiges montrés sur la photo 40, ou dans la photo 41 où les panneaux de plancher successifs apparaissent empilés l'un ou l'autre.



Photo 40. Immeuble Consulaire vu du sud après le tremblement de terre



Photo. 41. Immeuble Consulaire, notez l'empilement de l'ensemble des dalles des planchers



Photo 42. Poutres préfabriquées utilisées dans l'Immeuble Consulaire

Quelques indications sur la faiblesse structurelle de base qui ont conduit à cet effondrement peuvent être notées dans les autres vues des restes brisés. Sur les photos 42 et 43 on voit les poutres du plancher préfabriqué qui ont été utilisées dans l'ensemble de la structure.



Photo 43. Poutres préfabriquées et faux-planchers

Il est évident que celles-ci supportaient les panneaux du plancher mais n'y étaient pas réellement intégrées, de sorte que l'ensemble du système s'est séparé tout simplement. La cause ultime de l'effondrement de cette structure a été l'absence de mécanisme principal de résistance à des forces latérales, avec pour résultat la rupture des jonctions poutre-colonne sous l'action du séisme. Le manque de continuité entre les différents éléments de la structure lui a alors permis de se désintégrer lorsque les liens poutre-colonne se sont rompus.

### *L'Hôtel Saada*

L'hôtel Saada a fourni l'exemple le plus publié d'effondrement d'une construction de tremblement de terre, principalement en raison de la proportion des Européens et des Américains qui étaient clients de l'hôtel au moment de la tragédie.



Photo 44. Hôtel Saada vu du Nord-est, avant le tremblement de terre



Photo 45. L'Hôtel Saada vu du Nord-est, après le tremblement de terre

Construit en 1951-52, cet hôtel a été l'un des plus à la mode et des plus luxueux de la ville (photo 44), mais les ruines qui ont subsisté après le tremblement de terre (photo 45) ont donné peu de signes de son ancienne grandeur. Comme dans le cas de l'immeuble consulaire, la structure s'est complètement effondrée, laissant les dalles de plancher empilées les unes sur les autres. Les détails de la défaillance ont été quelque peu différents dans ce cas (le système de plancher incluait des solives coulées sur place plutôt que préfabriquées, comme on peut le voir sur la photo 46), mais le mécanisme de base était similaire.



Photo 46 Caissons de plancher alvéolés préfabriqués, Hôtel Saada



Photo 47. Détail à l'Hôtel Saada, notez l'absence de lien entre les éléments

Les jonctions poutre-colonne n'étaient pas suffisamment renforcées, voire pas du tout (Photo

47) et le renforcement des éléments souples n'a pas été conçu ni mis en place (photo 48) pour résister à des forces latérales dynamiques.

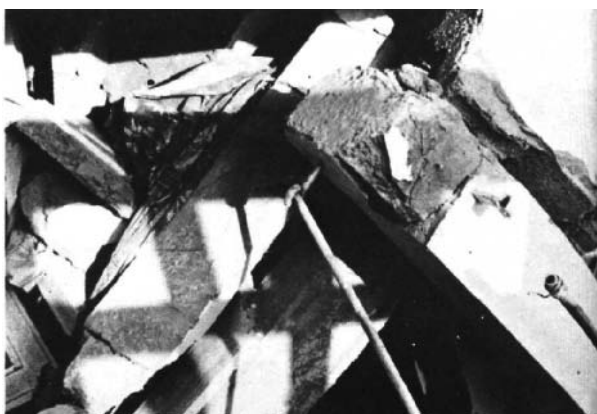


Photo 48. Détail à l'Hôtel Saada, notez les fractures des poutres et des solives

Ainsi, sous l'action du tremblement de terre, les articulations des éléments verticaux se sont cassées, et le manque de continuité a permis à l'ensemble de la structure de se rompre.

### ***Bâtiment Sud-Building***

Il y avait plusieurs autres effondrements complets des structures en béton armé, mais peu d'informations supplémentaires peuvent être obtenues à partir d'une étude des débris d'un tel effondrement total. Certaines de ces structures qui se sont effondrées en partie seulement offrent un intérêt ; toutefois, un des exemples le plus instructif est le Sud-Building, situé dans la Ville Nouvelle. Cette construction est présentée au centre de la photo 30 et à gauche dans la photo 32. Une façade de l'immeuble est présentée sur la photo 49.



Photo 49. Sud-Building vu du sud-est, le 2ème étage s'est effondré

Au niveau de la rue, cette construction de trois étages était globalement de forme rectangulaire, mais pour les trois niveaux supérieurs, il a été arrondi en forme de L avec la courbe de la face L sur la rue comme montrée sur la photo 49. La structure était en porte-à-faux sur les façades sur les deux rues, avec la saillie de la terrasse du troisième étage en avancée de près de 3 mètres au-delà de la face de

l'immeuble. Le poids de ce surplomb, combiné avec brusque mouvement venant du sol vers l'arrière de l'immeuble (c'est-à-dire au nord-ouest), a provoqué la déchirure de la maçonnerie des murs de remplissage et l'effondrement des colonnes du deuxième étage. Dans la courbe du L les colonnes du troisième étage s'effondrèrent alors. D'autres vues de la bâtisse effondrée sont présentées sur les photos 50 et 51.



Photo 50. Sud-Building vu du Sud-Ouest, notez comment 2ème étage s'est effondré vers la droite (SE)



Photo 51. Sud-Building vu du NE, le déport de balcon est visible

### ***Bâtiment des Services Municipaux***

Quelques-uns des bâtiments en béton armé plus récents en Agadir ont été construits avec des joints résistants au moment des forces et étaient bien attachés ensemble. Bien que durant la conception de ces bâtiments, seule la force du vent ait été prise en considération et que par conséquent la résistance au séisme aurait dû être relativement faible, leur performance lors du tremblement de terre a été notablement meilleure que celle de la structure en béton des structures conçues uniquement pour la charge verticale. Un des plus intéressants de ces bâtiments en béton est celui des Services Municipaux (voir photo 52) qui a été construit vers 1955.



Photo 52. Les Services Municipaux après le TDT

La hauteur envisagée pour cette structure était de sept étages, et ces structures ont été conçues pour la totalité de cette hauteur. Toutefois, au moment du tremblement de terre n'avaient été réalisés que trois étages avec l'intention d'ajouter les autres niveaux à une date ultérieure. Pour cette raison, la structure a été considérablement plus solide qu'un édifice habituellement de cette taille.

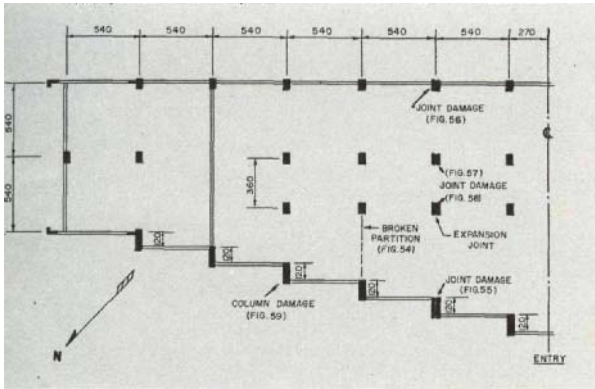


Fig 53. Croquis des colonnes, des bâtiments municipaux

Les dimensions de base de la structure sont présentées dans le croquis 53. Il est évident que la structure « en dessin d'escalier » de la façade du bâtiment a induit plus de colonnes dans la direction NW-SE. Ainsi, le bâtiment a été très résistant aux forces latérales le long de cet axe qui s'est trouvé par hasard en coïncidence avec la direction principale du choc du tremblement de terre.

La vue de la construction illustrée à la photo 52 donne l'impression que la structure n'a pas été endommagée par le tremblement de terre. Toutefois, un examen plus rapproché a révélé que les dégâts en dehors des structures (cloisons, plâtres intérieurs, fenêtres, etc) sont très étendus, et qu'un volume important de dégâts des structures s'est également produit.



Photo 54. Services Municipaux, Dégâts des carreaux de cloison.

La photo 54 est une vue de la partie avant gauche du hall d'entrée du bâtiment, juste à l'intérieur des portes d'entrée. La cloison en briques creuses entre

les colonnes à gauche de la photo a été brisée à cause de sa rigidité largement plus importante que celle des colonnes. Comme les colonnes réagissent à la force latérale du tremblement de terre (vers la gauche sur cette photo), elles ont dévié, et la cloison qui était assez rigide pour s'accommoder de la déformation (et trop faible pour supporter la force du tremblement de terre) s'est brisée. Des dommages à d'autres cloisons sont également visibles sur cette photo.

Un exemple typique des dégâts sur la structure causés par le tremblement de terre est présenté sur la photo 55 qui montre l'articulation poutre-colonne située à la jonction d'élargissement de la façade l'immeuble (voir la photo 53).

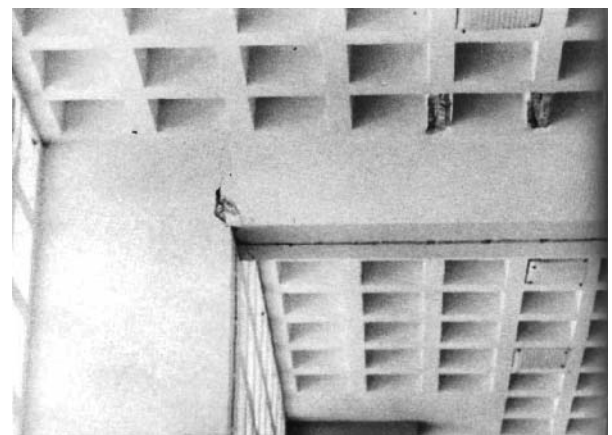


Photo 55. Fracture de la jointure poutre-colonne, intérieur de la façade du bâtiment des Services Municipaux

Les dommages à l'emplacement équivalent à l'arrière du bâtiment sont montrés dans la photo 56, et sur les colonnes intérieures sur les photos 57 et 58.



Photo 56. Fracture de la jointure poutre-colonne, intérieur de l'arrière du bâtiment des Services Municipaux.



Photo 57. Fracture de la jointure sur une colonne intérieure.

Il est très vraisemblable que la partie des dommages montrée par les photos 55 à 58 est due à des mouvements relatifs de la structure sur les deux côtés de la jointure de l'élargissement.



Photo 58. Fracture de la jointure sur une colonne intérieure.

Cependant le point principal à noter est qu'une poutre relativement épaisse a été produite pour être mise entre les colonnes le long des points d'élargissement tandis que pour les autres lignes de colonne les colonnes étaient encastées directement dans le système de plancher. Ainsi, l'effet des rigidités relatives est encore démontré. Les cadres sur le joint d'élargissement étaient plus rigides que les autres cadres de la structure et n'étaient pas en mesure de s'accommoder d'aussi grands déplacements que les autres. Les dommages subis par les jointures des colonnes ont été graves seulement aux endroits où les poutres ont été insérées. Lorsque la colonne était liée directement aux systèmes de plancher (fournissant une plus grande flexibilité), très peu de dommage a été observé. Toutefois, certains éléments de preuve de travail sont apparus à la base de la plupart des colonnes, à l'extérieur de la structure, comme le montre la photo 59.



Photo 59. Fléchissement du renforcement à la base de la colonne, façade extérieure des Services Municipaux

### *L'Immeuble La Paternelle*

Un autre immeuble moderne à ossature en béton à l'aspect remarquable est l'Immeuble La Paternelle, montré sur la photo 60. Ce bâtiment abritait la "Banque Populaire d'Agadir" au rez-de-chaussée tandis que les trois étages supérieurs étaient utilisés comme appartements. L'ossature de béton de cette construction a été gravement endommagée au rez-de-chaussée où la force latérale fut supportée essentiellement par les colonnes extérieures en forme trapézoïdale. Deux de ces colonnes montrées sur la photo 60 ont complètement cédé ; la photo 61 donne un gros plan de l'un d'elles. Le défaut semble être principalement dû à la compression ; les barres d'armature ont été complètement gauchies, de sorte que la colonne s'est déplacée de plus d'un pouce (2,54cm) à chacun des deux niveaux.



Photo 60. Immeuble La Paternelle face Sud



Photo 61. Immeuble La Paternelle, détail de la fracture de la colonne

La fissure du mur extérieur du crépi sur le bout en avancée de l'immeuble montre un important travail de l'ossature du premier étage, le même type de dommage est montré de l'autre côté de l'immeuble également sur la photo 62. Un dommage typique subi par les cloisons intérieures au premier étage se voit sur la photo 63. Il est à noter que la colonne portante intérieure au centre de l'image a également subi un dommage notable.



Photo 62. Immeuble La Paternelle face Sud-Est



Photo 63. Intérieur du premier étage de l'immeuble La Paternelle. Dégâts sur la cloison

### ***Marché Municipal***

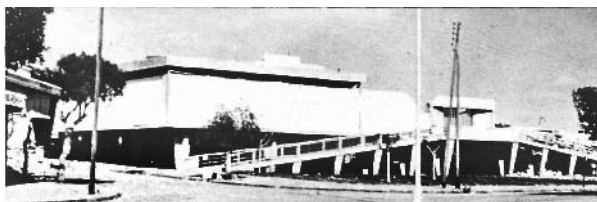


Photo 64. Le Marché Municipal de la Ville Nouvelle.

Le marché municipal de la ville nouvelle, photo 64, était également une construction à ossature en béton avec des joints résistants à des forces de levier mais ça n'a pas eu la même efficacité pendant le tremblement de terre que pour les Services Municipaux et l'Immeuble La Paternelle.

Le rez-de-chaussée de ce bâtiment avait de très imposantes armatures de béton, conçues pour supporter de lourds chargements de produits de l'entrepôt au premier étage.

Le toit de l'étage au-dessus ayant une charge utile très légère cependant, était soutenu par des colonnes plutôt minces.

L'ensemble de la construction était divisé en 3 parties (chacune d'environ 20 à 30 mètres au sol) reliées par des joints de dilatation.

Le toit au-dessus de deux de ces sections s'est complètement écroulé, tandis que la troisième section a été gravement déformée comme montrée sur la photo 65.



Photo 65. Premier étage du bâtiment du Marché, 2 sections se sont effondrées, la 3ème restant debout.

L'effondrement du toit de ces sections, sans aucun doute causé par de lourdes charges verticales dynamiques sur le système de plancher non chargé au-dessous, induisant d'énormes lézardes et affaissement des dalles, des joints, des armatures comme montré sur la photo 66.



Photo 66. Dommages au système de plancher du 1er étage du marché résultant de l'effondrement du toit.

Le tremblement de terre lui-même, cependant, n'a eu pratiquement aucun effet direct sur la structure du plancher du premier étage non chargé, comme cela a été démontré par un excellent état de la structure sous la section de ce qui ne s'est pas effondrée.

Les déformations que l'étage inférieur a subi sans effondrement, photo 67, sont d'un grand intérêt dans la conception de structures résistantes au tremblement de terre.

Une structure bien conçue, construite avec des matériaux appropriés peut absorber une grande quantité d'énergie par déformations en flexibilité; toutefois il est irréaliste de présumer que la structure doit fonctionner en élasticité dans les « schémas d'études de tremblement de terre » de très haut niveau.



Photo 67. Détail démontrant la grande élasticité de l'ossature du Marché.

La manière dont cette notion d'absorption de l'énergie a été prise en compte dans les codes de construction les plus récents sera examinée au chapitre 4 de ce rapport.

### ***Divers Immeubles***

Il peut être instructif d'examiner quelques autres exemples de constructions avec des structures en béton armé. La Photo 68 montre un bâtiment qui est situé de l'autre côté de la rue par rapport au Sud-Building.



Photo 68. Dégâts sur colonne en béton armé.

Elle montre clairement l'effet du mouvement du sol dû au puissant séisme agissant dans la direction nord-ouest. Les colonnes en béton armé du rez-de-chaussée ont été gravement endommagées à leur base et sommet. La résistance latérale des étages supérieurs a été plus grande que celle fournie par les colonnes du rez-de-chaussée, et la majeure partie des dégâts a été limitée au rez-de-chaussée. Le fossé qui s'est ouvert entre ce bâtiment et son voisin de gauche est d'un certain intérêt. Il n'y a aucune preuve de choc entre les deux bâtiments, ce qui indique qu'il n'y a pas eu d'impulsion d'accélération du sol vers le sud-est pour contrebalancer l'intensité de l'impulsion vers le nord-ouest qui a ouvert l'écart. Il est évident que ça a été un tremblement de terre de courte durée avec seulement une ou deux impulsions d'accélération.

D'autres exemples des dégâts de constructions en béton armé sont montrés sur les Photos 69 et 70,

dans lesquelles il sera noté que le dommage est généralement concentré dans les étages inférieurs des structures. De tels résultats seraient attendus dans le cas d'un tremblement de terre qui serait constitué d'une secousse unique très localisée parce que dans un tel cas la totalité de la force latérale à chaque niveau dépend à l'origine de la masse de la structure au dessus de ce niveau. La principale force latérale de ces constructions a été fournie par les murs de remplissage en maçonnerie ; et la force était à peu près constante sur la hauteur, et le défaut, donc, a apparu dans la zone des forces les plus intenses. Il est intéressant de noter sur la Photo 69 comment les murs sont largement lézardés (fissures en X caractéristiques), dégageant l'ossature de béton qui soutient toujours la structure.



Photo 69. La Fracture des murs de remplissage révèle la structure en béton armé.



Photo 70. La structure en béton armé supporte la charge en dépit des dommages de la maçonnerie.