

THE AGADIR, MOROCCO
EARTHQUAKE

FEBRUARY 29, 1960

*Agadir-Maroc
Tremblement de Terre
29 février 1960*

Traduction Française du Chapitre 3

Françoise Faucher-Moreau - Michel Granger - Régine Terrier-Caïs

Numérisation de l'ouvrage

Pierre Perrot



COMMITTEE OF STRUCTURAL STEEL PRODUCERS
of
AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE
150 East 42nd Street, New York 17, N.Y.

Les effets structurels du tremblement de terre d'Agadir

Les derniers tremblements de terre ont largement contribué à des connaissances techniques sur la façon dont se comportent les structures en charge, notamment en ce qui concerne les effets des forces latérales d'inertie. En un sens, un tremblement de terre dans une zone peuplée peut être considéré comme un gigantesque programme de test structurel dans lequel le comportement de divers types de constructions et de différentes formes des détails de structure peuvent être comparés. Les tremblements de terre ont une étrange capacité à rechercher les points faibles de la conception de construction d'une structure, et l'étude des effets des tremblements de terre ramène de force la vérité du vieil adage selon lequel «une chaîne n'est pas plus forte que son maillon le plus faible." Les clés de la conception de structures résistantes aux tremblements de terre sont les suivantes: visualisation des forces d'inertie engendrées dans la structure par les accélérations simples du séisme, et planification d'un chemin structurel direct et simple par lequel ces forces peuvent descendre jusqu'aux fondations des édifices.

En outre, une structure doit être liée à tous égards, de sorte que l'ensemble de la structure doit répondre aux mouvements du sol du tremblement de terre comme un tout. Quand une structure est vibrée, les éléments rigides sont recherchés, et tout manque d'uniformité, de force, de ductilité et de fiabilité des éléments des matériaux résistants, l'intégrité de la conception et/ou de la construction, sont rapidement mis en lumière. Par conséquent, en plus de fournir une bonne structure du système, la structure devrait comprendre des matériaux ductiles qui sont résistants et ont des qualités d'absorption de l'énergie qui permettent de résister à des forces dynamiques sans fracture.

Un exemple des commentaires ci-dessus, indiqué dans la zone portuaire, a été un mur d'extrémité rigide fragile, sans ductilité et résistance, qui a été fracturé et rendu inutilisable, tandis que les dispositions intérieures en acier qui étaient ductiles, résistantes et solides n'ont pas du tout été affectées par le choc.

Le tremblement de terre d'Agadir ne fournissait pas un test structurel particulièrement efficace de résistance sismique. En raison du fait qu'il n'y avait pas eu de récente activité sismique destructive au Maroc les forces de tremblement de terre n'avaient pas été prises en considération dans la conception de structures, et même seulement un petit pourcentage des structures a été conçu prenant en considération les forces du vent. En conséquence, les structures à

Agadir, en général, n'avaient pas ce degré de résistance aux tremblements de terre qui peut être inclus à un coût supplémentaire raisonnable, en supposant que la conception de base de charges verticales est solide et soigneusement exécutée et les concepts sismiques sont compris et appliqués.

A Agadir, comme cela a été observé sur les lieux d'autres tremblements de terre, les variations de dommages structurels d'un quartier à l'autre sont extrêmement importants. Deux facteurs essentiels ont contribué à cette variation de la performance :

1. La distance de l'épicentre.

En raison du foyer peu profond et de la magnitude relativement faible de ce tremblement de terre, l'amplitude des accélérations du sol diminue rapidement avec la distance de l'épicentre, et les structures dans un rayon de plus de cinq kilomètres n'ont pas été gravement ébranlées.

2. **Qualité et type de construction.** Le degré jusqu'auquel les éléments de structure étaient attachés ensemble s'est reflété tout à fait directement dans ses performances. Lorsque les éléments étaient simplement empilés l'un sur l'autre, comme un château de cartes les vibrations du sol dans la zone de l'épicentre provoquaient généralement l'effondrement total. D'autre part, lorsque les planchers et les murs, les colonnes et les poutres étaient attachés ensemble pour qu'ils puissent agir efficacement, comme une unité, la performance était généralement assez bonne, même dans les domaines d'intensité sismique maximale.

Types structurels observés

La construction dans la ville d'Agadir était de plusieurs types, et des observations générales peuvent être faites à l'égard de la performance de chaque type (bien que des exceptions à toute généralisation peuvent être notées, dans ce cas comme pour des tremblements de terre passés). La construction la plus répandue était en maçonnerie. Les structures de maçonnerie en fait couvraient un large éventail de types, mais seulement deux seront distingués ici. Le premier type à noter est l'ancienne, la mauvaise qualité, la maçonnerie de pierre caractéristique de la construction des logements dans la Kasbah, des quartiers Founti et Yachech. Dans ces bâtisses, le mortier était généralement de boue et de sable ; il y avait différents types de toiture - variant des chevrons de bois recouverts de tôle ondulée à des dalles en béton armé. Les bâtisses étaient généralement de un ou deux niveaux. Le deuxième type de structure de maçonnerie sera désignée comme la maçonnerie moderne, bien qu'elle ne peut

pas être comparée avec le renforcement de la maçonnerie utilisé dans certaines constructions modernes. Ces structures ont été trouvées tout au long de la plus grande partie du quartier de Talbordjt et aussi dans les nouveaux quartiers. Dans la plupart des cas, elles avaient trois ou quatre niveaux de hauteur, et, souvent, avaient un fini lisse de plâtre sur les murs qui leur donnait l'apparence des bâtiments modernes. Cependant sous le plâtre, on a découvert que les structures étaient composées de murs porteurs en maçonnerie non renforcée et des cloisons, supportant les planchers en dalle de béton et les toits. La maçonnerie était en pierres ou carreaux d'argile ; le mortier allait de la boue fragile et de sable à du ciment au sable de bonne qualité. L'autre principal type de construction à Agadir était le béton armé. Un type avait des colonnes en béton et de poutres pour porter la charge verticale, mais les articulations entre les éléments manquaient d'élasticité ainsi que de résistance au cisaillement qui pourraient servir à s'opposer aux forces latérales. Dans un second type, les colonnes et les poutres étaient jointes de façon rigide dans un système structurel intégral. Dans les deux types de constructions en béton, les murs et les cloisons étaient généralement en maçonnerie ; dans le premier type, toutefois, ces murs de maçonnerie de remplissage fournissaient la seule résistance à des forces latérales, tandis que dans le second type l'ossature contribuait à la résistance à la force latérale et servait à lier la structure ensemble.

En plus de la maçonnerie et des structures de type poutre et colonne en béton armé, il y avait quelques structures spécifiques à Agadir digne d'une mention. La performance, lors du tremblement de terre d'Agadir, de chaque catégorie et type de construction ainsi que quelques structures spéciales, seront discutés dans les sections suivantes de ce chapitre.

Structures de maçonnerie

Les structures en maçonnerie en pierres de la Casbah, des quartiers Founti, et Yachech sont responsables pour une grande part des décès et des blessures dues au tremblement de terre. Dans ces quartiers qui étaient proches de l'épicentre, près de 100% des constructions étaient irréparables et la plupart complètement effondrées. Les photos 15 à 19 montrent la destruction de ce type de construction qui a eu lieu dans le quartier Yachech ; des effets similaires ont été observés dans la Casbah et le quartier Founti aussi. La secousse violente et soudaine produite par ce foyer de tremblement de terre à proximité a été particulièrement efficace en détruisant ces bâtisses rigides et friables. Les structures ont peu de capacité à fléchir ou à absorber l'énergie ; dans la plupart des cas, la première fissure a coïncidé avec l'effondrement de la structure. A Yachech, son emplacement sur un coteau escarpé a aggravé l'effet destructeur du tremblement de terre.

Les maisons sur le haut sur la colline se sont effondrées sur les structures d'en dessous, précipitant un effet de réaction en chaîne. La qualité médiocre du mortier utilisé dans cette construction s'est manifestée, comme le montrent toutes ces photos, par la façon dont les murs se sont désintégrés complètement quand ils se sont écroulés.



Photo 15. Effondrement d'une construction ancienne en maçonnerie, Yachech



Photo 16. Vue générale de Yachech



Photo 17. Scène typique de la rue, Yachech

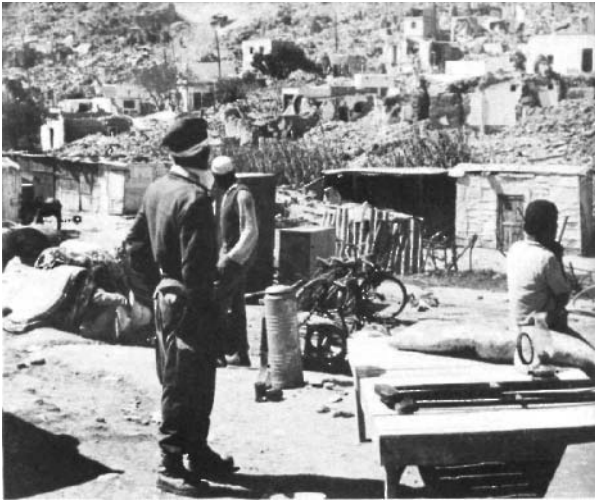


Photo 18. Une Comparaison des dégâts causés au Quartier Yachech

Les pierres tout simplement se sont éboulées. L'effet lien du mortier a été presque nul. Les bulldozers de l'armée vus sur les photos 18 et 19 ont été envoyés dans Yachech et les quartiers de la Casbah après que les opérations de sauvetage ont été terminées. Ils avaient pour fonction de démolir le peu de murs qui restaient debout et de stabiliser et de sceller des cavités dans les débris afin d'éliminer un danger potentiel pour les équipes de décontamination qui opéraient dans ces quartiers. Une comparaison intéressante est présentée sur la photo 18 dans laquelle les fragiles cabanes de bois au premier plan, ne montrent aucun effet apparent du tremblement de terre alors que les plus importantes probablement des structures de pierres à l'arrière, montrent toutes les niveaux de l'effondrement. Ceci est une illustration graphique du fait que ce n'est pas simplement une solidité apparente de la structure, mais plutôt sa véritable solidité dans le rapport avec son poids qui contrôle sa résistance au tremblement de terre. Sur cette base, la faible tenue de ces structures de maçonnerie n'est pas surprenante.



Photo 19. Nivellement des ruines pour des Raisons de Sécurité

Bien que les nouvelles structures de maçonnerie (qui se trouvaient en grande partie dans le quartier

Talbordjt) étaient généralement construites avec une meilleure qualité de mortier que celui utilisé dans les bâtiments plus anciens, et qu'une légère amélioration pourrait être notée dans leurs performances par conséquent, le gain net n'est pas très important. Quatre-vingt-dix pour cent des structures de Talbordjt ont été endommagés au-delà des possibilités de réparation.

La structure typique de la maçonnerie du quartier de Talbordjt est un immeuble de deux à quatre étages. La plupart d'entre eux ont été finis avec une bonne couche de plâtre à l'extérieur, en leur donnant l'apparence générale de béton armé. Des exemples de dommages subis par ce type de construction sont présentés dans les photos 20 à 36.

Dans la photo 20 est montré un exemple classique de la performance du tremblement de terre de la soi-disant structure de «maçonnerie moderne».



Photo 20. Défaillance typique de la construction en maçonnerie, Talbordjt

La façade de cette structure s'est effondrée, exposant sa construction interne. Le danger du tremblement de terre pour les personnes dans la rue avec ce type de construction est très claire. La photo 21 montre la même rue, après que les bulldozers ont dégagé un chemin à travers elle. Les façades des deux côtés de la rue, montrent comment le plâtre a été utilisé pour donner une surface lisse sur la structure de maçonnerie rugueuse.



Photo 21. Après que la rue a été dégagée par les bulldozers

Des exemples de dommages causés aux structures en maçonnerie de carreaux d'argile sont présentés sur les photos 22 et 23. Il apparaît qu'aucune amélioration significative des performances n'ait été apportée par ce matériau moderne de constitution de mur, même si les carreaux d'argile produisent une structure plus légère que la pierre. La construction des planchers creux cellulaire dans le bâtiment montré à la gauche de la photo 23 semble être très légèrement renforcée. Le bâtiment à la droite de la photo 22 est présenté dans une vue rapprochée en photo 24.



Photo 22. Effondrement d'un bâtiment en maçonnerie de 'Présentation moderne', Talbordjt



Photo 23. Plan rapproché des ruines montrées sur la photo 22



Photo 24. L'affaissement complet du rez-de-chaussée de l'immeuble montré sur la photo 22

Les deux plus hauts étages de cette structure semble être relativement peu endommagés, mais une inspection révèle que le premier étage s'est effondré complètement.

Les photos 25 à 29 montrent l'effet du tremblement de terre sur la maçonnerie d'apparence moderne

supportant la structure du mur de l'hôpital Lyautey. Dans la photo 25, les fissures en diagonale entre les fenêtres d'une partie de l'étage de la structure à droite sont remarquables du fait qu'elles sont inclinées dans une seule direction de mouvement primaire du sol.



Photo 25. Vue Générale de l'Hôpital Lyautey; à noter les fissures en diagonale dans la maçonnerie



Photo 26. Hôpital Lyautey; la bâtisse en pont et l'escalier en spirale en bon état

La relative absence de dommages sur l'escalier en colimaçon et une structure de pont montrée dans la photo 26 est intéressante parce que l'on pourrait s'attendre à que ces structures soient particulièrement vulnérables aux dommages causés par le séisme. Cependant, il est nécessaire pour le concepteur d'assurer un renforcement adapté et une continuité dans ces structures, afin qu'elles puissent résister à la charge statique verticale. Ainsi, même si les forces latérales peuvent ne pas avoir été prises en compte dans leur conception, **elles** avaient une condition de base nécessaires d'une structure résistante à un tremblement de terre, c'est-à-dire qu'elles étaient bien attachées ensemble. La performance de ces dernières et des exemples similaires partout dans la ville démontrent qu'il n'est pas impossible de concevoir des structures pour résister à des accélérations telles que celles produites dans le tremblement de terre d'Agadir : en fait, **elles** ont tendance à indiquer que l'amplitude des accélérations du sol développées n'était pas extrêmement grande.

L'autre côté de la principale structure hospitalière est montré sur la photo 27.



Photo 27. Aile du service de la maternité effondrée, Hôpital Lyautey

L'aile qui s'est effondrée était le pavillon la de maternité de l'hôpital. Heureusement, elle a tenu debout 15 minutes après le tremblement de terre, laissant du temps pour l'évacuation avant l'écroulement final, et personne n'a été blessé du fait du défaut de cette structure.



Photo 28. Plan rapproché de l'effondrement; à noter le manque de raccordement avec le bâtiment contigu

La photo 28 est une vue plus rapprochée de la même structure montrant la maçonnerie de pierre des murs extérieurs et les cloisons de carreaux d'argile dans la partie qui est encore debout. Un intérêt particulier de cette vue est la séparation nette entre la partie qui se tient encore debout et l'aile qui s'est effondrée. Il est évident qu'aucune tentative n'a été faite pour former un lien structurel entre les deux parties de la bâtisse. Une vue rapprochée de la pile de débris qui est tout ce qui est resté de l'effondrement de l'aile de l'hôpital est montrée sur la photo 29.



Photo 29. Reste de l'aile de la maternité

La Ville Nouvelle présentait également de nombreux exemples de structures de maçonnerie gravement endommagées ou complètement effondrées ; quelques-unes sont présentées sur la photo 30 et à nouveau sur la photo 31, un effondrement complet caractéristique de la plupart des cas dans ce quartier.



Photo 30. Vue générale dans la Nouvelle Ville; Immeuble 'Sud Building' au centre

La rue à droite sur la photo 30, est montrée en gros plan sur la photo 32. La construction à gauche dans la photo 32 était le Sud-Building, un édifice avec armature en béton armé, qui sera examiné dans la prochaine section de ce chapitre.



Photo 31. Effondrement d'une construction typique en maçonnerie de la Ville Nouvelle

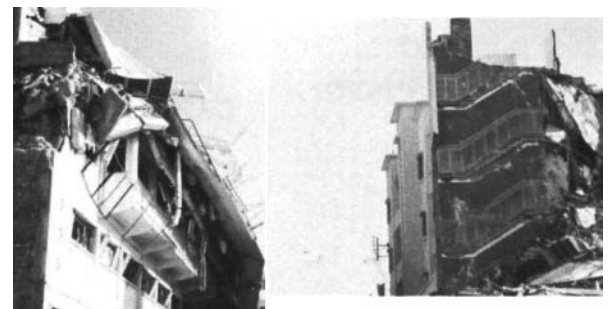


Photo 32. A gauche, l'immeuble 'Sud Building' en béton armé, un bâtiment en maçonnerie à droite

Le bâtiment de droite est une construction de maçonnerie dont une partie s'est effondrée complètement, le reste étant très gravement endommagé. L'autre face de ce bâtiment est montrée sur la photo 33. Le remblai vertical maintenu par le sol au bord des rues dans la photo 30 est intéressant. Il est clair que le sol était très dur et compact, et même le très violent choc du tremblement de terre

n'a provoqué que faiblement l'affaissement du remblai.



Photo 33. L'affaissement des murs porteurs en maçonnerie laisse les dalles de plancher sans support

Ces conditions sont caractéristiques de l'ensemble de la ville. Il n'y avait aucune preuve nulle part (à l'exception du port) de défauts ou dommages sur les fondations causés par un sol défectueux. Les portiques et structures d'entrée des grands hôtels ont été jugées particulièrement vulnérables aux forces de tremblement de terre.



Photo 34. Dégâts du portique de l'hôtel Marhaba, cas typique de plusieurs exemples à Agadir

Un exemple d'une telle défaillance est montré dans la photo 34, l'entrée de l'hôtel Marhaba. La structure de la promenade de l'entrée était supportée par de longues colonnes qui n'avaient pas d'entrave latérale; et lorsque le choc du tremblement de terre a frappé la structure, la base s'est simplement écartée, ce qui a permis à la structure de tomber directement. La partie principale de la construction a été gravement endommagée mais ne s'est pas effondrée. Des dommages similaires ont été observés dans plusieurs autres hôtels.

Les photos 35 et 36 montrent d'autres exemples intéressants de dommages d'un tremblement de terre sur de petits bâtiments en maçonnerie. Ces bâtiments se faisaient face de chaque côté d'une rue de la Ville Nouvelle.



Photo 35. Dégradation du rez-de-chaussée des bâtiments



Photo 36. Notez l'effet de maintien des rideaux métalliques flexibles

La rue était orientée NW-SE, et il est évident que le choc principal au sol était directement parallèle à l'axe de la rue, vers le nord-ouest. Les bases de deux bâtiments ont vacillé dans cette direction, laissant la partie supérieure de la structure en arrière. Il semble probable que le rideau en acier souple qui était déployé pour couvrir les vitrines a fourni la résistance latérale de cisaillement qui a empêché l'effondrement total de ces bâtisses. Une forme inhabituelle de construction a été utilisée dans le Cinéma Rialto, montrée par la photo 37.



Photo 37. Le système du toit du cinéma Le Rialto endommagé par l'effondrement des murs porteurs en maçonnerie

Les arches en « bowstring»¹ en béton armé soutenant le toit de cette structure reposaient directement sur les murs porteurs en maçonnerie de pierre non renforcée. Vers l'arrière de la construction, les murs porteurs soutenaient également les planchers de balcon, qui donc servaient de cadre aux murs de maçonnerie, à environ mi-hauteur, mais dans la partie avant du cinéma les murs de maçonnerie n'étaient pas maintenus sur toute leur hauteur d'environ 8 mètres. Le choc du tremblement de terre a provoqué

¹Note du traducteur :

Bowstring : Vocabulaire des ouvrages d'art : Construction (en général un pont) composée de poutres en arches au dessus d'un tablier qui forment de profil un arc (« bow ») et sa corde (« string »).