

ETUDE DE CAS 3

Evaluation épidémiologique de la morbidité et de la mortalité dues à un tremblement de terre au Guatemala

En février 1976, une secousse tellurique a dévasté une vaste superficie dans la région centrale du Guatemala, des milliers de personnes étant mortes ou blessées. A la suite du séisme, nous avons mené une enquête épidémiologique pour recenser les facteurs de risque provoquant la mort ou des lésions graves lors de tremblements de terre et qui pourraient être associés à des mesures visant à éviter ces conséquences à l'avenir.

L'enquête révéla que les cas mortels s'étaient produits essentiellement chez des familles habitant des maisons anciennes en torchis dont les cloisons de soutènement étaient les plus fragiles. Les personnes dont les habitations étaient faites de tiges de maïs ou de torchis nouveau subirent moins de lésions graves ou mortelles. A l'intérieur des maisons, les mesures préventives traditionnelles, consistant par exemple à se réfugier dans un endroit renforcé comme le coin d'une pièce ou contre un chambranle de porte, n'apportaient aucune protection supplémentaire contre les traumatismes provoqués par le tremblement de terre. Dans cette communauté pauvre du Guatemala, il existait d'autres constructions asismiques qui ne furent pas associées à une forte mortalité ou à des lésions graves par suite du séisme. Lors de la reconstruction des villages du Guatemala à la suite du tremblement de terre, des recommandations avertissaient la population des risques inhérents aux constructions en torchis et de la nécessité de renforcer les habitations ne comportant que des cloisons de soutènement. Cette étude fut la première établissant une corrélation entre les dégâts évalués selon des méthodes de génie civil et le risque pour la santé humaine.

Note de couverture

L'effondrement des habitations en torchis fut la principale cause de décès et de traumatismes lors du tremblement de terre au Guatemala, comme cela avait été le cas dans d'autres régions d'Amérique latine. L'étude épidémiologique de la relation entre le mode de construction des habitations et les effets sur la santé à la suite de secousses telluriques peut fournir des indices pour la prévention des décès et des traumatismes dans les régions du monde qui sont vulnérables à ces catastrophes naturelles (Glass, R. I., Centers for Disease Control, Atlanta, Georgie 30333, Etats-Unis d'Amérique).

LESIONS DUES A L'EFFONDREMENT DES HABITATIONS DANS UN VILLAGE
LORS DU TREMBLEMENT DE TERRE AU GUATEMALA

Les techniques de construction asismique pourraient réduire
le nombre des décès et des lésions graves

Roger I. Glass, Juan J. Urrutia, Simon Sibony, Harry Smith,
Bertha Garcia, Luis Rizzo

Au cours de la dernière décennie, trois tremblements de terre très graves et un grand nombre de moindre amplitude ont coûté la vie à quelque 100 000 personnes sur le littoral du Pacifique en Amérique centrale et en Amérique du Sud, le nombre des blessés étant encore plus élevé. Puisque la majorité de ces décès et traumatismes sont dus à l'effondrement de bâtiments, de nombreux changements ont été préconisés dans les techniques de construction afin de réduire les conséquences sanitaires des secousses telluriques. Même dans l'environnement le plus simple, l'application des principes de la construction asismique pourrait en fait réduire de façon sensible les pertes de vies humaines et de biens.

Le tremblement de terre du 4 février 1976 dévasta une grande partie du Guatemala en tuant 22 778 personnes et en laissant 76 504 blessés (1) (figure 1). A la suite de cette catastrophe, nous eûmes la possibilité d'étudier les tableaux de mortalité et de lésions graves dans le village de Santa Maria Cauque et d'établir une corrélation avec les différents types d'édifices qu'on y trouvait. Nous voulions déterminer en particulier les types de matériaux de construction et les modèles d'habitation existant actuellement qui s'étaient révélés les plus efficaces pour éviter les traumatismes majeurs. Nous pensions également pouvoir confirmer ainsi les avantages sur le plan sanitaire des méthodes de construction asismique.

Pendant 15 ans, Santa Maria Cauque a servi de centre pour de nombreuses études épidémiologiques longitudinales menées par l'Institut de Nutrition pour l'Amérique centrale et le Panama (INCAP) (2). Ce village, situé dans les montagnes à une cinquantaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Guatemala, avait une population de 1577 Indiens d'origine Maya-Cakchiquel pour qui l'espagnol est une seconde langue. Les villageois, qui cultivent la terre et élèvent des poulets, vivent pour la plupart dans des abris d'une pièce faits de briques de torchis ou de tiges de maïs avec une toiture de chaume, de tuiles ou de tôle ondulée. Le centre de santé, qui compte un médecin et une équipe d'infirmiers et d'auxiliaires, est accepté par la communauté indienne, et nous avons pu y recueillir les données exposées dans le présent article.

Le séisme, qui correspondait à 7,5 sur l'échelle de Richter, se produisit à 3 h 05 du matin, quand tous les villageois étaient endormis. Il dura 39 secondes, ce qui empêcha quiconque de quitter sa maison ou de se réfugier sous le mobilier, dans un angle de la pièce ou contre les chambranles de portes. La secousse passée, tous les bâtiments du village étaient détruits à l'exception des quatre en béton armé, à savoir le dispensaire, la mairie, l'école et une habitation. Soixante-dix-huit personnes, soit 5 % de la population, avaient été tuées, et beaucoup d'autres étaient blessées. Le dispensaire se mit à fonctionner immédiatement et des fournitures supplémentaires arrivèrent dans les cinq jours. En l'espace de deux semaines, des cliniciens procédèrent à une surveillance épidémiologique des maladies infectieuses, étudièrent les réactions individuelles au séisme et prirent note des désirs exprimés au sujet des habitations à l'avenir.

Dans le présent article, nous commençons par examiner l'âge, le sexe et l'ordre de naissance des habitants du village de Santa Maria Cauque morts ou gravement blessés lors du tremblement de terre. Comme pour d'autres catastrophes naturelles, nous avons constaté que les jeunes et les personnes

âgées étaient les plus exposés au risque de lésions graves ou mortelles. Nous présentons ensuite un modèle de prédiction "Maison la meilleure - Maison la pire", que nous avons élaboré, après avoir enquêté dans tous les foyers du village et établi une corrélation entre, d'une part, le type de maison et de matériaux de construction et, d'autre part, l'ampleur des lésions subies par les occupants (enquête "de comparaison des habitations"). Il s'est avéré que les "maisons les pires" étaient les structures anciennes faites de torchis et abritant plus de sept personnes. Les "maisons les meilleures" étaient les structures faites de matériaux autres que le torchis. Il semble que le type de toiture, les dimensions des pièces et leur nombre, et la quantité de portes et de fenêtres n'avaient pas d'importance. Dans la seconde des deux enquêtes que nous avons effectuées, nous avons interrogé des représentants de chacun des 58 foyers comptant au moins un mort ou un blessé grave, afin de déterminer pourquoi certaines personnes dormant sous le même toit avaient survécu indemnes, alors que d'autres étaient gravement ou mortellement blessées (enquête "à l'intérieur des habitations"). Dans les deux enquêtes, nous avons cherché à poser des questions concernant les pratiques en vigueur pour les constructions bon marché, afin de découvrir celles qui pourraient être modifiées pour réduire le risque de traumatismes à l'avenir dans cette région où l'activité sismique est permanente.

TABLEAU 1. ORDRE DE NAISSANCE DES ENFANTS MORTS
DE LEURS BLESSURES LORS DU SEISME.
LES FAMILLES INCLUSES COMPRENAIENT AU MOINS TROIS ENFANTS.

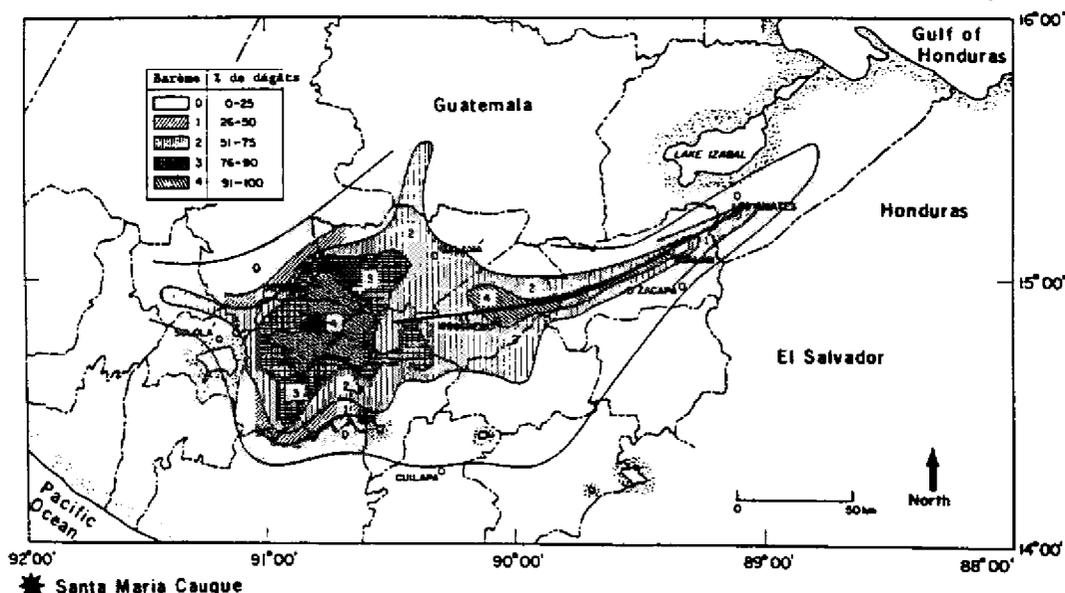
Ordre de naissance	Décès (%) [*]	Survivants (%) [*]
Premier	6 (20)	24 (80)
Avant-dernier	14 (47)	16 (53)
Dernier	8 (27)	22 (73)

* Ecart par rapport au χ^2 linéaire = 5,08
($P < 0,05$).

Enquête sur les décès et les lésions graves

Dans les 48 heures qui suivirent le séisme, des certificats de décès avaient été enregistrés à la mairie pour 78 villageois. Un recensement rapide de toute la population du village confirma ce total deux semaines plus tard. Les taux de mortalité spécifiques de l'âge et du sexe furent calculés sur la base de données de recensement détaillées datant de janvier 1976 (figure 2). Les taux de mortalité spécifiques de l'âge étaient élevés pour les jeunes et les personnes âgées, mais faibles pour les personnes d'âge moyen. L'inspection plus poussée des données révéla que le taux de mortalité était plus faible pour les nourrissons de moins d'un an que pour leurs frères et soeurs plus âgés, ce qui nous conduisit à étudier la mortalité des enfants par rapport à leur ordre de naissance tel qu'il avait été enregistré lors du recensement (tableau 1). Le risque de décès était plus faible pour l'enfant le plus jeune (le dernier-né) que pour le frère ou la soeur qui le précédait immédiatement. Le risque de décès ($P < 0,05$) était le plus élevé pour l'avant-dernier enfant et ce risque diminuait par la suite avec l'âge, étant le plus faible pour l'enfant le plus âgé (le premier-né). Il est apparu clairement par la suite que l'enfant le plus jeune dormait habituellement avec sa mère et se trouvait de ce fait quelque peu protégé. Dans les sociétés traditionnelles, le risque de malnutrition, de maladies infectieuses et de mortalité dans l'enfance est surtout élevé pour l'avant-dernier-né et il semble bien que c'est encore chez lui que le risque de décès par suite de traumatismes dus à un tremblement de terre est le plus élevé.

FIGURE 1. CARTE ILLUSTRANT LES DEGATS SUBIS PAR LES STRUCTURES EN TORCHIS AU GUATEMALA LORS DU TREMBLEMENT DE TERRE DU 4 FEVRIER ET INDIQUANT L'EMPLACEMENT DU VILLAGE DE SANTA MARIA CAUQUE



On a qualifié de gravement blessées les personnes dont les lésions nécessitaient l'hospitalisation ou des soins ambulatoires avec suivi prolongé de plus de deux semaines, s'agissant de fractures graves (30), de contusions graves (4) et de plaies ouvertes (4). Ces données furent consignées au dispensaire et elles représentent un échantillon des cas les plus graves soignés par le personnel médical. Il convient de citer tout particulièrement parmi ces lésions cinq fractures du bassin et deux fractures de la colonne vertébrale avec lésion de la moelle épinière. Pour les lésions graves, les taux spécifiques de l'âge augmentaient continuellement avec l'âge (figure 2). Peu de personnes âgées de moins de 20 ans étaient gravement blessées et le risque de traumatismes était régulièrement plus élevé pour les femmes que pour les hommes dans presque tous les groupes d'âge. Ce tableau est analogue à la distribution des fractures de la hanche aux Etats-Unis, lesquelles se produisent plutôt chez les femmes âgées et post-ménopausiques en raison de l'affaiblissement de leur squelette par l'ostéoporose.

Les tableaux de mortalité et de lésions graves observés au cours de cette étude indiquent que le risque de traumatismes dus aux séismes est le plus élevé pour les jeunes et les personnes âgées; les adultes robustes survivent. Cette même tendance a pu être observée dans deux autres villages du Guatemala inspectés après ce séisme, et aussi lors du tremblement de terre de Managua en 1972 (figure 3). Elle est également identique au tableau de mortalité noté par Sommer lors du cyclone de 1970 au Bengale oriental (3). La robustesse physique des adultes est sans doute le facteur le plus important pour survivre à une catastrophe naturelle qui met la vie en péril.

Facteurs liés à l'habitation et favorisant les traumatismes : l'enquête "de comparaison des habitations"

Pourquoi l'effondrement de certaines habitations avait-il entraîné plus de lésions physiques que dans d'autres ? Une équipe composée de cinq membres du personnel infirmier et agents de santé interrogea 259 des 277 chefs de famille pour déterminer le nombre de personnes se trouvant au foyer la nuit du séisme et le mode de construction de la maison détruite. Les questions portaient sur la taille de la maison, le type de parois et de toiture, le nombre de pièces, de portes et de fenêtres, et l'ancienneté de la maison ou l'année au cours de laquelle elle avait subi sa dernière rénovation. En outre, on ajouta aux données l'indice codé de la catégorie sociale établi en 1974 et existant pour 198 des 258 familles (4). Ces données furent ensuite assignées à deux groupes en fonction de la présence ou de l'absence d'une lésion importante (grave ou mortelle).

TABLEAU 2. DISTRIBUTION ET RISQUE RELATIF DE LESIONS IMPORTANTES (GRAVES OU MORTELLES) SELON LE TYPE ET L'ANCIENNETE DE L'HABITATION ET LA TAILLE DE LA FAMILLE

Rubrique	Lésion importante		Risque relatif de lésion importante*	P	X ₁ ²
	Présente	Absente			
Type de maison - torchis - autre construction	60 0	161 36		<0,001	
Age de la maison † - ancienne (8 ans et +) - récente (de 0 à 7 ans)	45 15	100 61	1,6	<0,07	3,21
Taille de la famille † - nombreuse (7 personnes au moins) - réduite (de 1 à 6 personnes)	35 25	37 124	2,9	<0,001	24,9

* Rapport entre le taux pour le sous-groupe 1 et le taux pour le sous-groupe 2.

† Maison en torchis seulement (N = 221).

FIGURE 2. TAUX SPECIFIQUES DE L'AGE POUR LES TRAUMATISMES DUS AU TREMBLEMENT DE TERRE

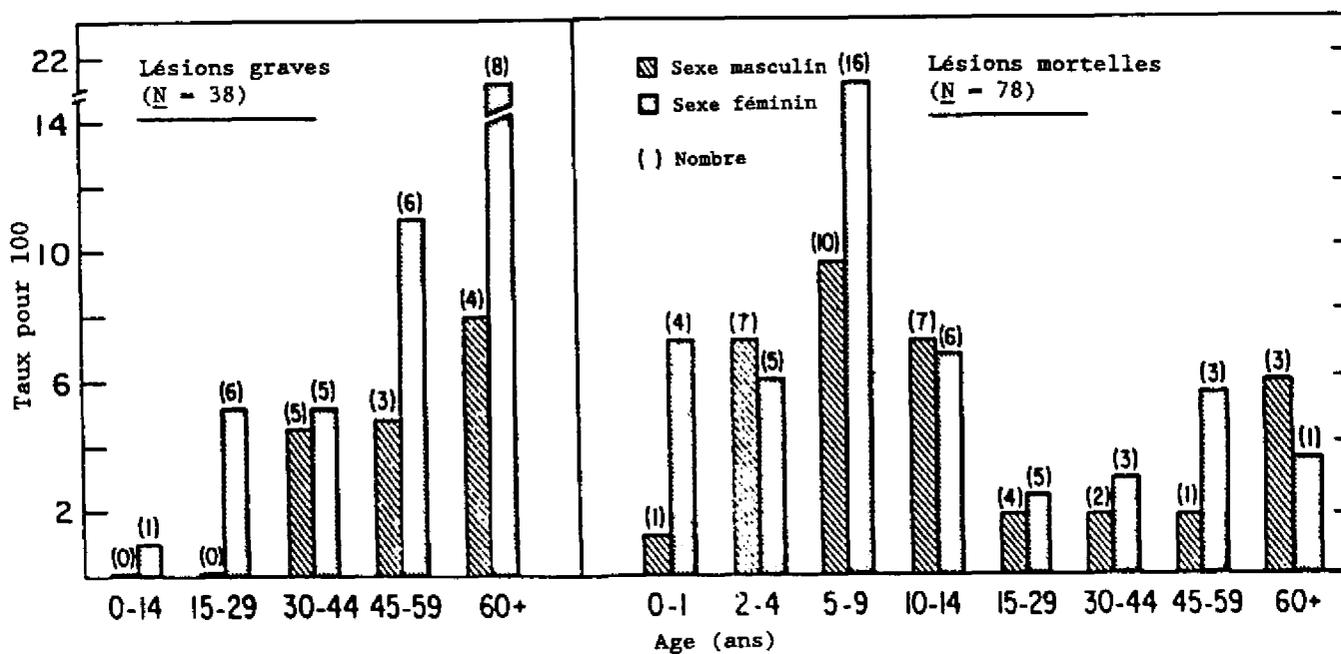
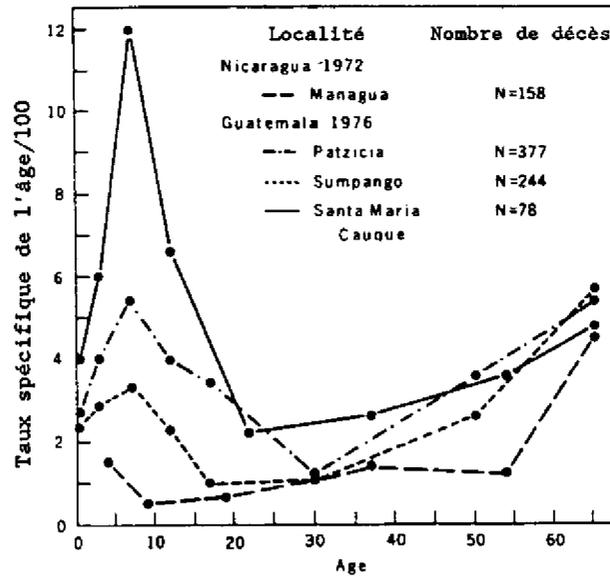


FIGURE 3. COMPARAISON DES TAUX DE MORTALITE SPECIFIQUES DE L'AGE DANS QUATRE LOCALITES D'AMERIQUE CENTRALE LORS DE DEUX TREMBLEMENTS DE TERRE DIFFERENTS



Tous les décès et toutes les lésions graves se sont produits dans des habitations en torchis (tableau 2). Les lourdes briques en torchis, maintenues ensemble par un mortier de boue peu résistant, se sont séparées facilement sous l'effet des secousses telluriques. Bien que tous les édifices de la ville qui n'étaient pas en torchis se soient effondrés à l'exception d'un seul, aucun ne provoqua de traumatisme majeur. Le principal édifice qui n'était pas en torchis comportait des parois légères en tiges de maïs soutenues par une charpente en bois, ce type de structure étant théoriquement asismique. Bien que les parois se soient effondrées, la charpente et la toiture sont demeurées intactes ou ne se sont effondrées que partiellement.

Puisque 85 % des maisons dans le village étaient en torchis, nous analysâmes toutes les autres variables ne concernant que ce type de maison ($N = 221$) (5). L'ancienneté du torchis était la seule autre variable à laquelle nous pûmes attacher une importance ne serait-ce que marginale ($P < 0,10$), le risque relatif de lésion grave étant, par rapport aux maisons neuves en torchis, 1,6 fois plus élevé pour les maisons en torchis vieilles de plus de 7 ans. On ne saurait préciser si cet effet de l'ancienneté du torchis est ou non un facteur déterminant. Les briques ont tendance à se dessécher et à devenir fragiles en vieillissant. Il a été suggéré d'ajouter de l'huile au torchis, mais cette méthode n'a jamais été appliquée dans cette région. D'un autre côté, il se peut que le torchis de fabrication très ancienne ait contenu des mélanges différents de sable et d'argile. Une trop grande quantité de sable rendrait le torchis plus fragile et plus dangereux à mesure qu'il vieillit. Puisque aucune analyse des briques n'a été pratiquée, nous ne pouvons confirmer aucune de ces hypothèses.

D'autres variables en matière de logement furent étudiées, à savoir le nombre de pièces, la taille de la maison, le nombre de portes et de fenêtres et le type de toiture. Pour aucune il n'a été constaté de corrélation sensible avec l'ampleur des lésions. Les ingénieurs estiment que les pièces de grandes dimensions sont plus dangereuses sur le plan structurel que les pièces plus petites parce que les parois sont moins bien renforcées à partir des angles ou par des entretoises. Nous avons établi un indice de la taille des pièces (nombre de mètres carrés par pièce) pour vérifier cette hypothèse et avons constaté que, dans les maisons en torchis où la surface des pièces variait de 4 à 64 m², il n'y avait aucune association entre la dimension des pièces

et l'ampleur des lésions subies. Nous avons constaté par ailleurs qu'il n'y avait aucune corrélation entre l'indice socio-économique et la gravité des blessures. Par contre, nous avons pu observer qu'il était corrélé avec la taille de la maison, ce qui confirme qu'il s'agit d'un indicateur valable de la condition socio-économique.

La possibilité pour une maison de petites dimensions soit de résister à un séisme, soit de s'effondrer lentement sans blesser les occupants a été étudiée par différents groupes d'ingénieurs qui ont abouti à plusieurs types de conception asismique (6). Les maisons comportant une charpente rigide avec des parois légères, comme les maisons en tiges de maïs avec charpente en bois dont il est question dans la présente étude, résistent bien à un séisme parce que la charpente reste debout même si les cloisons légères s'effondrent. Les maisons de torchis de ce village ne comportaient ni renforcement interne, ni charpente solide, ni haubans d'arrimage, alors que tous ces éléments ont été préconisés pour rendre asismiques les parois des maisons en torchis. Bien qu'on pense généralement que des pièces longues et étroites deviennent plus stables quand elles sont subdivisées en pièces plus petites, notre indice de renforcement (mètres carrés par pièce) n'a nullement confirmé cette thèse. De même, nous n'avons observé aucune corrélation entre le nombre de portes ou de fenêtres dans une maison, éléments qui devraient affaiblir un mur en torchis soumis à une secousse tellurique, et la mortalité enregistrée dans cette communauté. Ces observations donnent à penser que le torchis ancien est extrêmement instable avec un séisme de cette amplitude et que ni le renforcement des parois, ni les portes ou fenêtres, ni les dimensions des pièces, ni le type de toiture ne peuvent modifier le résultat de façon appréciable. Le risque de lésions graves (risque relatif : 2,9 contre 1) était plus grand pour le foyer d'une famille nombreuse parce que davantage de victimes possibles étaient présentes. Néanmoins, ce risque était supérieur à l'accroissement prévisible parce qu'il y avait sur place plus de gens susceptibles d'être blessés. Les membres des familles composées de plus de sept personnes risquaient deux fois plus de subir une lésion grave que les membres des familles plus petites (tableau 3). Cela corrobore notre observation initiale suivant laquelle le taux de traumatismes dus aux séismes est plus élevé pour les personnes qui font partie de familles nombreuses, pour les enfants et pour les personnes âgées. Les adultes pourraient survivre s'ils étaient blessés par une brique en torchis de 30 kg tombant d'une hauteur de 1,80 m, mais non les enfants ou les personnes âgées. L'examen de l'effet combiné de la dimension de la famille et de l'ancienneté du torchis a révélé que c'étaient là des variables indépendantes.

TABLEAU 3. TAUX DE TRAUMATISMES ET DIMENSION DE LA FAMILLE

Dimension de la famille (Nombre de personnes)	Lésions graves ou décès dans les familles*			
	Présent		Absent	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
De 2 à 6	34	6	594	94
7 et +	71	11	577	89

* $\underline{P} < 0,001 : X_1^2 = 12,25.$

TABLEAU 4. Effets protecteurs des structures renforcées. En calculant le X^2 , nous n'avons pas tenu compte de l'absence d'indépendance en ce qui concerne le sort de différentes personnes dans une même habitation, de sorte que la valeur \underline{P} correspondante est peut-être légèrement moins extrême que celles indiquées. N.S. = non significatif.

Lieu où les personnes dormaient	Protection	Sort		
		Survie	Décès	\underline{P}^* (X_1^2)
Dans les angles	Oui	95	17	N.S. (0,11)
	Non	197	41	
Près de la porte	Oui	122	34	N.S. (2,46)
	Non	142	24	

L'enquête "à l'intérieur des habitations"

Dans les foyers où l'on a enregistré un décès ou des lésions graves, quels sont les facteurs qui ont déterminé le sort différent des personnes vivant sous le même toit ? Cinquante-huit chefs de famille chez qui des personnes avaient subi des lésions graves furent interrogés par trois membres du personnel infirmier choisis pour leur sensibilité et l'expérience qu'ils avaient de cette communauté. Les infirmiers ont cherché ainsi à déterminer : i) le plan des maisons au moment du séisme; ii) l'endroit où chacun dormait; iii) la direction dans laquelle les parois sont tombées; iv) la raison pour laquelle certaines personnes furent épargnées et d'autres blessées; et, si possible, v) la cause de décès ou de lésion. Comme les renseignements recherchés avaient une connotation affective, on sélectionna six maisons pour déterminer si la méthode suivie pour l'étude était valable. Les enquêteurs constatèrent que les membres de la communauté parlaient volontiers de ce qui s'était produit et que l'entrevue n'empiétait nullement de façon désagréable sur l'intimité des villageois. Les informations recueillies furent enregistrées sur un questionnaire qui comportait un plan de la maison établi au préalable avec un espace suffisant pour noter les diverses réponses, un tableau étant complété à la main en fonction des différentes hypothèses possibles.

Age et ordre de naissance. Les faibles taux de mortalité pour les enfants de moins d'un an et la position protégée de l'enfant le plus jeune de la famille confirmaient l'hypothèse suivant laquelle l'enfant le plus jeune dormait

avec sa mère et partageait son sort tandis que l'avant-dernier enfant dormait séparément. L'enquête révéla que tel était bien le cas. Dans les familles comptant au moins trois enfants, 29 sur 30 des enfants les plus jeunes dormaient avec leur mère, mais 11 seulement des 30 avant-derniers ($P < 0,005$). Dans toutes les familles, l'enfant le plus jeune eut généralement le même sort que sa mère, les deux devant survivre (28) ou mourir (5), la mère seule ou l'enfant seul n'étant tués que dans un seul cas ($P < 0,005$, épreuve de Fisher).

Dans dix foyers, on enregistra le décès d'un enfant dormant dans le même lit que deux ou plus de ses frères ou soeurs mais sans adulte. Là encore, le risque était le plus élevé (80 %) pour l'enfant le plus jeune dans le lit (il ne s'agissait jamais de l'enfant le plus jeune de la famille), celui-ci étant suivi de l'enfant d'âge médian (45 %) puis de l'enfant le plus âgé (20 %) ($P < 0,05$). A l'exception de l'enfant le plus jeune, la mort chez les enfants était uniquement fonction de l'âge, le risque de décès dû à des traumatismes étant plus élevé pour les enfants les plus jeunes que pour leurs frères ou soeurs plus âgés.

Considérations relatives à la structure. Les chambranles de portes et les angles des pièces sont généralement considérés comme étant les parties de la maison les plus renforcées du point de vue structurel et devraient donc conférer un certain degré de protection en cas de secousse tellurique. Or, tel ne fut pas le cas avec ces maisons en torchis. Nous ne constatâmes aucune différence appréciable pour les taux de mortalité entre les personnes qui dormaient dans les angles des pièces et celles qui dormaient le long des parois de torchis non consolidées ni entre les gens qui dormaient près de la porte et ceux qui se trouvaient à une certaine distance de celle-ci (tableau 4).

Matériaux provoquant des traumatismes. Quatre-vingt-deux pour cent des familles comprenant des personnes gravement blessées attribuaient le traumatisme uniquement à la chute de briques en torchis. Neuf pour cent affirmaient que les lésions étaient imputables aux poutres soutenant la toiture et 9 % estimaient qu'elles étaient dues à la fois aux briques en torchis et aux poutres. Les matériaux constituant la toiture ne furent pas mentionnés, ce qui correspond aux observations faites lors de l'enquête précédente.

Interventions possibles. Deux interventions possibles qui, pensait-on, auraient pu réduire la mortalité due aux tremblements de terre furent mises à l'épreuve et l'on constata qu'elles n'auraient eu guère d'effet. i) Si une faille est notoirement active, est-il davantage probable ou moins probable que telle ou telle paroi de la maison présente le risque de s'effondrer en occasionnant des traumatismes ? Bien que 68 % des murs orientés d'est en ouest à Santa Maria Cauque soient tombés effectivement du côté nord ($N = 170$, $P < 0,0001$) vers Chimaltenango, l'épicentre local, nous ne constatâmes aucune différence de taux de mortalité entre les villageois dormant dans des lits situés contre ces parois et ceux qui se trouvaient dans des lits orientés perpendiculairement à celles-ci. Par ailleurs, il est extrêmement difficile de prédire avec exactitude les séismes futurs étant donné la structure complexe des failles de moindre importance telles qu'elles ressortent des cartes géologiques du Guatemala et l'impossibilité de prévoir l'emplacement exact de l'épicentre. ii) Un système de secours organisé aurait-il permis de modifier le taux de mortalité dans cette communauté ? Six personnes qui sont mortes à la suite du séisme avaient continué à communiquer avec les sauveteurs jusqu'à l'aube, c'est-à-dire trois heures après la première secousse. Les secours ont été retardés par l'obscurité et la distance entre les maisons. Au mieux, un effort de secours rapide et totalement efficace n'aurait permis de sauver que 7 % de ceux qui sont morts.

Discussion

Les tremblements de terre ont été périodiquement l'un des déterminants majeurs de la mortalité et des traumatismes sur le littoral du Pacifique en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Cette région bien délimitée coïncide avec l'interface des principales plaques tectoniques dont l'activité continuera de menacer les habitants de la région. La mesure dans laquelle les séismes futurs continueront de provoquer des décès dépendra de notre capacité de mettre au point des techniques de construction asismique bon marché (7) et de notre aptitude à encourager des populations de cultures et de croyances très diverses à modifier leurs édifices.

Nous pouvons tirer plusieurs enseignements de l'événement qui s'est produit à Santa Maria Cauque. En premier lieu, tous les décès et toutes les lésions graves étaient associés aux habitations. Dans chaque cas, il s'agissait de l'effondrement d'une structure en torchis, et l'on a déterminé que les traumatismes étaient provoqués soit par les briques en torchis, soit par les poutres qu'elles soutenaient. Aucun autre facteur lié au séisme, tels que des glissements de terrain, des épidémies, l'exposition au froid ou la destruction de stocks alimentaires, n'entraîna un seul décès dans cette communauté à l'époque du tremblement de terre ni au cours de la période suivante de huit semaines correspondant à l'enquête. L'incapacité des habitations en torchis de résister à la force d'un tremblement de terre a déjà été reconnue lors de séismes précédents en Amérique centrale et en Amérique du Sud. En fait, l'échelle d'intensité de Mercalli repose en partie sur l'ampleur des dégâts subis par des bâtiments construits selon différentes techniques. Par exemple, dans la figure 1, la ligne délimitant la zone où plus de 50 % des structures en torchis furent endommagées coïncide approximativement avec la limite entre les zones correspondant aux chiffres 6 et 7 sur l'échelle de Mercalli (8). Si l'on veut réduire au minimum les traumatismes dus à des tremblements de terre, il faudra centrer les études ultérieures sur la relation entre la mortalité et les lésions lors de séismes d'intensité différente et dans des régions où les techniques de construction sont différentes (9).

En second lieu, l'observation selon laquelle on n'a enregistré aucune lésion majeure dans les habitations non construites en torchis montre qu'il existe déjà dans cette communauté des types d'édifices différents et relativement sûrs qui correspondent aux aptitudes de la population en matière de construction. Il faut signaler que le torchis est un matériau de construction relativement récent dans ce village. En 1924, il n'existait aucun édifice en torchis à Santa Maria Cauque, toutes les maisons étant construites de tiges de maïs, de planchettes recouvertes de boue (appelées bajareque) ou de matériaux analogues fixés à une simple charpente en bois. Les anciens du village se souviennent que, lors du tremblement de terre de 1918, il n'y eut aucun décès et seulement quelques blessés dans ces habitations, bien que tous les édifices du village fussent détruits. En 1925, on édifia la première maison en torchis, calquée sur les habitations construites par les Espagnols dans la ville de Guatemala. Certes, on savait que beaucoup de citoyens espagnols avaient été tués par les briques en torchis lors du séisme de 1918, mais pour les Indiens une maison en torchis symbolisait le prestige attaché à la culture espagnole. Les briques en torchis étaient bon marché et faciles à fabriquer, elles protégeaient les occupants des températures extrêmes et constituaient un matériau plus permanent et mieux fini que les tiges de maïs ou le bajareque qu'il fallait remplacer périodiquement. Dès 1963, la moitié des maisons de Santa Maria Cauque étaient en torchis, et en 1971 la proportion atteignait 85 %. En une quarantaine d'années à peine, le risque de traumatismes dus à un séisme dans le village était passé du stade minimal au stade maximal. Il est permis de se demander quel impact la promulgation, à la suite de la catastrophe de 1918, d'un code de construction interdisant les édifices en torchis aurait pu avoir sur le lourd tribut en vies humaines payé lors du récent séisme.

Le tremblement de terre a beaucoup modifié les préférences de la population dans le domaine du logement et a permis d'appliquer des notions de construction non traditionnelles (10). En 1971, une étude des préférences en matière d'habitation indiquait que le mode de construction préféré était la maison en torchis. Deux semaines après le séisme, une nouvelle enquête sur la question révéla que 1 % seulement des habitants interrogés souhaitaient vivre dans un édifice en torchis, les autres accordant la préférence aux tiges de maïs, aux planches en bois ou aux parpaings de béton. Les équipes internationales de secours introduisirent dans le village des appentis en bois avec une toiture de tôle ondulée. En l'espace de deux mois, le village fut reconstruit en matériaux asismiques importés et, de ce fait, coûteux. Cela équivaudrait en quelque sorte à vacciner une population une fois terminée une grande épidémie.

A la suite des tremblements de terre récemment survenus au Pérou, au Nicaragua et au Chili, des architectes et des ingénieurs se sont employés à mettre au point des habitations asismiques bon marché construites avec des matériaux utilisés traditionnellement dans cette région du monde. Ils ont jugé que le torchis était un matériau qui résistait mal aux secousses telluriques. Pour contrecarrer les forces latérales d'un séisme, il fut suggéré de modifier la géométrie, la répartition des masses et la rigidité des parois en torchis. Les méthodes recommandées consistaient à renforcer les structures en torchis avec des murs à charpente de bois, des câbles internes, des croisillons sur les murs sans soutènement, et des portes et fenêtres à ouverture plus petite, ainsi qu'à utiliser le torchis seulement jusqu'à une hauteur maximale d'un mètre. Les habitations comportant des parois légères, comme les cloisons en tiges de maïs renforcées par une charpente rigide, sont plus élastiques et résistent mieux aux séismes que les murs de soutènement non renforcés, par exemple en torchis. De très nombreuses autres suggestions ont été formulées en vue de la construction de nouvelles habitations asismiques avec des matériaux traditionnels ou de la modification des édifices existants. Il reste à les faire connaître et aussi à vérifier si elles empêcheraient la mortalité. Il ressort de l'enquête décrite dans le présent article qu'en l'absence de ces innovations la construction en torchis est source de traumatismes, que le torchis neuf est un matériel de construction meilleur, sans doute parce qu'il est plus humide ou parce que le mélange de sable et d'argile est différent, et que les renforcements de structure mineurs (pièces plus petites ou renforcement des angles et des portes, par exemple) n'offraient en fait aucune protection appréciable dans une habitation en torchis.

L'amélioration des méthodes de prédiction des tremblements de terre et l'alerte rapide que déclenchent les secousses préliminaires ont contribué à réduire la mortalité due aux séismes (11). De nombreuses vies humaines ont été épargnées, semble-t-il, dans plusieurs villes chinoises dont la population avait été évacuée parce qu'un séisme avait pu être prédit de façon exacte. En Chine, d'autres tremblements de terre non prévus ont entraîné la mort de nombreuses personnes, ce qui souligne le caractère très imparfait de la science de la prédiction. Les secousses qui ont précédé le tremblement de terre de Managua en 1972 ont probablement sauvé la vie de beaucoup de gens qui ont préféré vivre sous la tente pendant des mois plutôt que chez eux (12). Les secousses du même ordre qui avaient précédé le tremblement de terre de 1918 au Guatemala incitèrent des familles riches à construire dans leur jardin des baraques en bois (tembleros) dans lesquelles elles dormaient et s'abritaient quand les secousses redoublaient d'intensité (13). Ces secousses préliminaires créent une motivation pour entreprendre des travaux préventifs en renforçant les habitations, en retirant les objets placés trop haut et les surplombs trop lourds, ou en s'installant dans des abris jugés plus asismiques. Au Guatemala, il n'y eut ni prédiction ni secousse prémonitoire. La première onde sismique fut la plus forte et celle qui occasionna le plus de dégâts.

Pour que les traumatismes dus aux tremblements de terre diminuent à l'avenir, il faudra orienter les efforts vers la prévention des lésions causées par les structures édifiées par l'homme. Les principales conséquences sanitaires des tremblements de terre en Amérique latine ne sont pas les épidémies ou les famines qui suscitent trop de commentaires dans le public alors qu'elles sont en fait relativement peu importantes, mais les traumatismes qui se produisent dans les instants qui suivent une forte secousse. Un bon diagnostic épidémiologique rapide des problèmes qui se sont posés ailleurs après une catastrophe naturelle serait précieux pour confirmer cette conclusion et pour réorienter les secours vers la mise au point plus utile et plus durable de logements asismiques. Il serait non moins utile que les fonctionnaires de l'administration et les planificateurs des services de santé et de l'aménagement du territoire prennent conscience de la notion de prévention de la mortalité due aux tremblements de terre. Il faudra accorder une priorité absolue à la promulgation et à l'application obligatoire de codes de construction améliorés ainsi qu'à l'enseignement à la population des techniques simples de construction asismique. Tout code doit comprendre une limitation très stricte de l'emploi du torchis dans cette région comme matériau de construction. Il faudra poursuivre simultanément les travaux de recherche sur la construction asismique, la prédiction des tremblements de terre, l'éducation communautaire, et l'épidémiologie et la prévention des lésions dues aux catastrophes.