

Constructions scolaires et catastrophes naturelles

D. J. Vickery

Unesco

Publié en 1984 par l'Organisation
des Nations Unies pour l'éducation,
la science et la culture
7, place de Fontenoy, 75700 Paris
Imprimerie Vanmelle, Gand

ISBN: 92-3-202031-9
Édition anglaise: 92-3-102031-5
Édition espagnole: 92-3-302031-2

© Unesco 1984

Préface

Jusqu'à présent, en matière de construction scolaire, l'action de l'Unesco en cas de catastrophe naturelle a surtout consisté à aider les États membres touchés par les séismes à remédier à leurs effets. Ainsi, l'Unesco envoie des missions de reconnaissance dans ces régions, pour évaluer les dommages subis par les constructions scolaires. Par ailleurs — et c'est là aussi un aspect important de son activité — elle formule des recommandations pratiques concernant la protection architecturale des écoles. Avant d'être approuvés, les plans des constructions scolaires élaborés avec le concours technique de l'Unesco, sont examinés de manière à déterminer la vulnérabilité des écoles en cas de séisme.

L'Unesco a préparé plusieurs documents techniques destinés à informer les États membres des résultats de ses activités en ce domaine. Ces documents portaient sur les thèmes suivants : les catastrophes naturelles en général et la conception des constructions scolaires en Asie ; l'effet des séismes sur les constructions scolaires ; et les normes de construction à respecter pour faciliter l'évacuation rapide en cas d'urgence.

La présente étude couvre un champ plus large : elle vise à identifier les zones menacées par les cyclones et autres catastrophes naturelles et à en donner une classifi-

cation typologique. Elle tente également d'analyser les principaux problèmes que posent la conception et la construction de bâtiments scolaires aptes à résister aux catastrophes naturelles. Enfin, cette brochure contient une liste annotée des ouvrages et documents disponibles sur le sujet.

Nous formons l'espoir que cette étude encouragera et facilitera la rédaction de manuels dont puissent s'inspirer aussi bien les concepteurs de constructions scolaires que les collectivités locales qui conçoivent et construisent elles-mêmes leurs écoles. Aussi, cette publication devrait-elle intéresser les architectes, les ingénieurs, les concepteurs, les fonctionnaires, tous ceux qui travaillent dans les services de constructions scolaires des ministères de l'éducation et les autorités locales dans les zones prédisposées aux catastrophes naturelles.

L'auteur, D. J. Vickery, a une grande expérience de la conception des édifices consacrés aux activités d'éducation. Il a été architecte principal au Bureau régional de l'Unesco pour l'éducation en Asie et dans le Pacifique (Bangkok) et a publié de nombreux livres et articles.

Les idées et les opinions exprimées dans cet ouvrage sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Unesco.

Table des matières

Introduction	9
<hr/>	
Première partie	Les effets des catastrophes naturelles sur les constructions scolaires
La catastrophe naturelle	15
Les phénomènes physiques	22
Études de cas	34
<hr/>	
Deuxième partie	Reconnaître le risque et y faire face : un diagnostic
La reconnaissance du risque	43
Deux modèles d'action	51
La reconnaissance du risque et les constructions scolaires	54
Contrôle de la conception et de la construction des bâtiments scolaires dans les zones menacées par les catastrophes naturelles	60
Prémunir les écoles contre les catastrophes naturelles : comment y parvenir	65
Recherche et formation	68
Publications relatives à la protection architecturale des bâtiments contre les catastrophes naturelles	72
S'équiper en écoles protégées contre les catastrophes naturelles : diagnostic des problèmes	76
<hr/>	
Troisième partie	Réduction du risque : identification des secteurs d'intervention
Choix politiques et planification	83
Architecture, génie civil et protection des écoles contre les catastrophes naturelles	86
La construction, par les collectivités rurales, de bâtiments scolaires aptes à résister aux catastrophes naturelles	90
Renforcement des écoles existantes	92

Introduction

Ces dernières années, l'attention portée par diverses organisations nationales ou internationales aux problèmes engendrés par les catastrophes naturelles s'est accrue. Il en a résulté notamment une collecte d'informations grâce auxquelles il a été possible, pour la première fois, de se faire une idée globale des effets de ces phénomènes sur les personnes, les biens et l'économie fragile de quelques pays.

L'Unesco s'est surtout attachée à identifier et à étudier les causes des catastrophes naturelles. Son secteur des sciences a consacré certains de ses programmes aux inondations et aux sinistres d'origine sismique, et les principales catastrophes survenues au cours des dernières années ont été recensées et ont donné lieu à des publications. Les phénomènes catastrophiques d'origine météorologique ont, eux aussi, été étudiés par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). En outre, en 1972, était créé, à Genève, le Bureau du coordonnateur des Nations Unies pour les secours en cas de catastrophe (UNDRO). La fonction de l'UNDRO est de rassembler tous les moyens et ressources disponibles quand une catastrophe naturelle survient, de coordonner les activités de secours et de promouvoir l'adoption de mesures préventives, la planification préalable et la préparation aux catastrophes naturelles.

Les activités que les institutions internationales mènent à l'échelon régional portent davantage sur les aspects particuliers des catastrophes naturelles. Les spécialistes en sciences sociales de l'Unesco, par exemple, s'intéressent de près aux faits et gestes des habitants des régions menacées, alors que les spécialistes en infrastructures de l'éducation s'attachent à aider les gouvernements à préparer des programmes de construction d'écoles conçues pour résister aux catastrophes naturelles. L'UNDRO, et certains organismes nationaux de secours aux collectivités frappées par une catastrophe naturelle, s'occupent tout particulièrement de reloger les personnes dont les habitations ont été endommagées ou détruites. C'est à cet aspect des catastrophes naturelles, c'est-à-dire à leurs effets physiques, que sont consacrés la plupart des ouvrages

écrits sur la question, les autres thèmes connexes étant généralement négligés.

Cela étant, l'instance principalement concernée par une catastrophe naturelle est toujours le gouvernement de la région où elle s'est produite. C'est donc surtout aux États qu'il incombe de formuler des directives sur les mesures à prendre en cas de catastrophes naturelles. En outre, les gouvernements doivent non seulement élaborer des politiques de prévention satisfaisantes mais aussi sensibiliser l'opinion publique à leur importance. Les organismes extérieurs ne peuvent, au mieux, qu'offrir leurs services consultatifs pour aider les gouvernements, d'une part, à faire en sorte que la population soit davantage prête à prévenir les catastrophes et, d'autre part, à prendre les mesures opérationnelles adéquates.

Cette préparation est le thème principal de la présente étude, avec un accent mis sur les constructions scolaires, puisque, en cas de catastrophe naturelle, elles posent un problème particulièrement aigu. Dans la plupart des villages ruraux à travers le monde, l'école est l'édifice le plus important. Durant la journée, elle abrite la quasi-totalité des jeunes de cette génération dont dépend l'avenir de toute communauté. Que survienne une catastrophe naturelle, l'école doit tenir puisqu'en ses murs, toute une génération peut être en danger. Par ailleurs, l'école est généralement le seul bâtiment du village dont la conception et la construction peuvent être contrôlées par le gouvernement. Si les autorités le décident, cet édifice peut être rendu sûr pour les enfants, voire être conçu comme un refuge temporaire pour la population pendant et immédiatement après un cataclysme.

Quelques gouvernements de pays susceptibles d'être frappés par des catastrophes naturelles sont de cet avis et ont une juste perception des risques. Or, pour toutes sortes de raisons, ils sont l'exception plutôt que la règle. Ce qui fait problème en ce domaine c'est la pénurie de ressources — et pas seulement celle de ressources financières qui n'est pas la plus difficile à résoudre. Le manque de concepteurs expérimentés et d'inspecteurs qualifiés, les maigres indications fournies par les règles et normes

de construction, l'insuffisance des informations requises pour la conception sont quelques-unes des difficultés auxquelles on se heurte. Quand celles-ci ont été partiellement surmontées, ce sont généralement les écoles urbaines qui bénéficient des avantages acquis, alors que l'on continue à construire de manière traditionnelle les bâtiments ruraux qui ont donc une faible probabilité de résister à une catastrophe de grande ampleur. Or, la grande majorité des écoles dans les régions à risque sont situées dans des zones rurales, où vit environ 80% de la population.

Cette étude a été réalisée en partie pour répondre au souhait de l'Unesco de donner des informations de caractère moins général sur la question. Dans quelles parties du monde exactement se trouvent les régions à risque? Quelles sont les publications en mesure d'être utiles aux concepteurs d'écoles devant résister aux catastrophes naturelles? Quelles études entreprendre pour combler les manques? Quelles informations en attendre? Par qui ces études devraient-elles être rédigées? Quand ce sont les populations locales plutôt que l'État qui construisent les écoles, comment les aider et dans quels domaines faut-il agir? Existe-t-il, pour aider les concepteurs, des moyens autres que les publications de travaux? Dans les pays à risque, ne conviendrait-il pas de donner aux architectes et aux ingénieurs, dès l'université, une formation concernant la conception d'édifices capables de résister aux catastrophes naturelles? Quels sont actuellement les pays qui emploient, pour guider les concepteurs, le biais de règles de construction dont ils imposent — ou non — le respect obligatoire? Combien de pays ont-ils des règlements régissant la conception et la construction d'écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles? Quand il existe des normes et des règlements, sont-ils appliqués de la même manière en zone rurale qu'en zone urbaine? Les constructions scolaires peuvent-elles être conçues pour résister à tous les types de catastrophes naturelles et, sinon, que doit-on faire en cas de sinistre?

Poser ces questions soulève immédiatement le problème de la collecte des informations. Il est assez simple d'identifier les pays à risque dans le monde; il est beaucoup plus difficile, et même délicat, de déterminer dans quelle mesure les règlements régissant la conception parasismique des écoles ont un caractère contraignant dans les pays où ils existent. Les ouvrages portant sur les catastrophes naturelles, fort nombreux maintenant, traitent principalement des problèmes matériels et humains qui se posent au moment de l'événement mais analysent rarement à fond les périodes intermédiaires. Pourtant, ce sont précisément ces laps de temps et leur emploi qui, en réalité, importent véritablement. La construction d'écoles est un élément de planification nationale à long terme.

Les programmes de construction ne sont habituellement pas liés aux catastrophes naturelles; ils relèvent du développement normal de l'éducation. Dans ces conditions, la question des catastrophes naturelles n'est que rarement considérée comme prioritaire, et même quand le risque est pris en considération et qu'il en résulte certaines architectures nouvelles, il n'est pas rare qu'on n'en sache rien. Le Mexique et le Pérou sont parmi les très rares pays qui font exception à cette règle.

La présente étude est divisée en trois parties. La première est descriptive: le phénomène des catastrophes naturelles y est décrit très brièvement et les pays à risque sont identifiés parmi les États membres de l'Unesco. Sont également recensés les effets des catastrophes sur les bâtiments scolaires dans quelques-uns de ces pays.

Pourtant, et c'est l'évidence, des écoles continuent à être endommagées par les catastrophes naturelles: aussi la deuxième partie de cette étude a-t-elle pour objet d'analyser quelques-unes des raisons à l'origine de cet état de fait. La médiocrité des ressources financières et le manque de compétences dans le domaine de la conception même sont des facteurs manifestement importants, mais les attitudes des responsables des constructions scolaires le sont sans doute tout autant, voire plus. On ne pourra évidemment que survoler cette question puisqu'elle ne semble pas avoir attiré l'attention de beaucoup de sociologues des pays susceptibles d'être frappés par les catastrophes naturelles. Quelques travaux ont été entrepris sur le sujet dans une région donnée, mais, à ce stade, il n'est pas encore possible d'en tirer des conclusions pratiques. Aussi en est-on encore réduit à se demander pourquoi tel responsable officiel d'un pays où un séisme grave peut se produire à tout moment se refuse, par exemple, à prendre des mesures pour renforcer la sécurité des bâtiments scolaires. L'inventaire des problèmes sur lequel la deuxième partie de cette étude s'achève n'est donc pas exhaustif: utile à certains égards, il n'en demeure pas moins qu'il montre que de nouvelles recherches devraient être effectuées.

Dans la troisième partie, on envisagera quelques-uns des différents moyens possibles pour apporter une assistance à long terme aux États membres. L'analyse de la situation montre l'absence de manuels de conception et de construction destinés à aider ceux dont la tâche est de concevoir des écoles capables de résister aux catastrophes naturelles et de servir d'abris aussi bien pendant qu'après, ainsi que le manque de données sur les coûts de construction; en effet, l'hésitation à construire des écoles faites pour résister aux catastrophes naturelles, vient en grande partie de la crainte — déraisonnable — que cela coûte trop cher et conduise à construire moins d'écoles neuves, compte tenu du budget limité. Il nous semble nécessaire

d'apaiser ces craintes, non seulement chez les concepteurs mais aussi chez les planificateurs de l'éducation et les responsables des politiques de l'éducation.

Enfin, nous avons souligné combien il était essentiel de former les concepteurs et les ingénieurs à concevoir des bâtiments capables de résister aux catastrophes naturelles. Il est un fait que, dans de nombreux pays à risque, on ne s'intéresse guère, voire pas du tout, à ce type de constructions, alors que c'est un problème auquel il est sans doute plus facile de faire face qu'à d'autres.

Première partie

Les effets des catastrophes naturelles sur les constructions scolaires

La catastrophe naturelle

Une catastrophe naturelle est un véritable désastre: elle peut endommager ou détruire les biens, blesser ou semer le désespoir parmi les personnes. La plupart du temps, ces catastrophes naturelles arrivent soudainement, encore que certaines d'entre elles puissent être prévues et leurs conséquences les plus graves atténuées. Les tremblements de terre, par exemple, se produisent d'ordinaire de manière tout à fait inopinée, alors qu'un violent cyclone se développe parfois suffisamment lentement pour qu'on puisse dresser le plan de sa trajectoire et prévenir de son arrivée prochaine.

Les phénomènes existant dans la nature ou induits par elle, tels que les différences de pression atmosphérique, les inondations et les tremblements de terre, déploient parfois des forces suffisantes pour endommager des bâtiments et blesser ou tuer des personnes. Quand c'est le cas, on dit qu'une catastrophe naturelle a eu lieu. On ne parle pas de catastrophe naturelle, en revanche, quand des forces naturelles importantes, comme de violentes secousses telluriques, sont enregistrées mais n'entraînent aucun dommage pour les personnes ou les biens. Cela était à noter, car souvent, dans les ouvrages spécialisés, il est question de prétendues catastrophes qui ne sont rien d'autres que des enregistrements de perturbations naturelles qui, si elles présentent un certain intérêt scientifique, ne peuvent être classées parmi les catastrophes naturelles, au sens où nous l'entendons dans cette étude.

L'utilisation de l'adjectif « naturel » pour décrire les catastrophes doit également être analysé avec soin. Au sens strict, ce mot décrit un phénomène existant dans la nature ou induit par elle. Est dit naturel quelque chose qui n'est pas artificiel. Ainsi, en l'état actuel de nos connaissances, il semblerait qu'une violente perturbation cyclonale soit d'origine « naturelle » et, lorsqu'à la suite d'une tempête, on compte des morts et d'important dégâts matériels, alors on peut dire qu'une « catastrophe naturelle » s'est produite.

En revanche, lorsque le déboisement de pans entiers de collines est à l'origine de graves inondations dans les vallées, il est difficile de parler dans ce cas de catastrophe

« naturelle ». Tout comme il peut arriver que des secousses telluriques causant des dégâts soient dues à l'endiguement, dans des réservoirs, de grandes étendues d'eau destinées à produire de l'énergie hydro-électrique.

Dans son article sur le séisme de 1976 de Gemona di Friuli, Ambraseys¹ remarque que « les atteintes portées par l'homme à la stabilité de grandes masses rocheuses, par la construction de routes, de voies ferrées en déblai et de tunnels, ou dans le système de drainage de surface ou souterrain de masses rocheuses instables, ont souvent entraîné des éboulements de volumes énormes ».

Que de telles catastrophes puissent être qualifiées de naturelles est douteux. Fréquemment, on compte parmi les catastrophes naturelles les avalanches déclenchées par des skieurs et des touristes lorsqu'il y a mort d'homme; on peut partir de là pour défendre l'idée que les sinistres induits par l'homme ne devraient pas être considérés comme des catastrophes naturelles puisque ces dernières, en l'état actuel de nos connaissances, ne peut être évitées.

On décrit une catastrophe naturelle, d'une part, par sa cause, et, d'autre part, par ses effets (c'est-à-dire les conséquences qu'elle peut avoir tant sur les personnes que sur les biens). Pour autant que nous le sachions, il n'existe pas de phénomène naturel ou d'autres causes provoquant des désastres ne touchant que les constructions scolaires. Les cyclones particulièrement violents, les inondations et les séismes frappent tous les bâtiments dans toute leur étendue. Il en va de même pour les « effets », c'est-à-dire les conséquences qu'entraînent ces phénomènes. Les édifices qui sont similaires — par leur forme, le type de construction et l'aménagement de leur espace intérieur — aux écoles, par exemple les hôpitaux ruraux, subissent les mêmes dommages et destructions en cas de catastrophe naturelle.

Toutefois, certaines caractéristiques sont propres aux constructions scolaires. Tout d'abord leur emplacement. La carte scolaire correspond généralement à la distribution de la population; habituellement, dans les zones

1. Les nombres entre crochets dans tout le texte font référence aux articles de la bibliographie annotée qui accompagne chaque chapitre.

rurales, il y a une école dans chaque grand village. De plus, l'école est d'ordinaire le plus grand bâtiment du village. Dans les zones à risque, une école construite pour résister aux catastrophes naturelles peut servir de centre de rassemblement en matière de secours et d'accueil temporaire pour les personnes blessées ou sinistrées.

Ensuite, pendant les cours les bâtiments scolaires abritent un nombre important d'individus, tout comme les salles de spectacles, telles que les cinémas. Par conséquent, si une maison qui s'effondre peut blesser ou tuer toute une famille, dans le cas d'une école remplie par ses occupants c'est la quasi-totalité des jeunes d'un village et de ses environs qui risquerait d'être atteinte.

Ces deux raisons à elles seules suffisent à montrer à quel point il est essentiel de concevoir et de construire des écoles capables de résister aux catastrophes naturelles.

Inventaire des catastrophes naturelles

Il existe deux sortes de catastrophes naturelles: les phénomènes sismiques et les phénomènes météorologiques qui résultent des différences de pression atmosphérique en diverses parties de la surface du globe. C'est de ces deux sources que découlent la plupart des causes connues des catastrophes naturelles dont aient eu à pâtir les personnes et les biens.

Parmi les phénomènes sismiques, on peut citer les séismes ou mouvements violents de la terre qui sont souvent à l'origine de catastrophes pouvant avoir des effets secondaires, eux-mêmes capables d'engendrer à leur tour de véritables désastres, tels que les glissements de terrain, les avalanches et les tsunamis ou raz-de-marée. L'activité volcanique est également d'origine sismique; elle produit de violents mouvements de la terre et peut provoquer des émissions de lave, de cendres et de gaz incandescents, tous phénomènes potentiellement destructeurs.

En matière de prévention des sinistres, il est utile de distinguer les séismes causés par une activité volcanique et ceux produits par le jeu des fractures. La plupart des volcans étant localisés et connus, il va de soi qu'il n'est pas question de construire dans les zones dangereuses des écoles ou tout autre espèce de bâtiment.

En revanche, les séismes causés par le jeu des fractures peuvent se produire dans des zones très étendues de la surface du globe, où il y a souvent une forte densité de population; c'est donc dans ces zones à risque qu'il faut construire des écoles capables de résister aux catastrophes naturelles.

Deuxième cause fondamentale des catastrophes naturelles: les différences de pression atmosphérique. Elles

peuvent produire des vents très violents qui se développent sur de très larges étendues ou des vents localisés tout aussi destructeurs dont le « grain en ligne », courant dans des zones telles que les prairies de savane d'Afrique occidentale est un exemple. Dans ces parties de la surface de la terre où des dépressions atmosphériques apparaissent au-dessus des mers très chaudes, de violents cyclones tropicaux¹ peuvent se produire, apportant avec eux des vents violents, de très fortes chutes de pluie et des ondes de tempête, au cours desquelles, pour tout un ensemble de raisons, le niveau de la mer s'élève sensiblement. Quand le cyclone se heurte au littoral, l'eau recouvre les basses terres.

Des vents locaux, souvent d'une grande violence, peuvent apparaître à certaines périodes de l'année dans beaucoup de pays, en particulier ceux qui sont à proximité de hautes chaînes montagneuses. Des exemples de ce phénomène, courant dans de nombreuses régions du monde [2], sont données par les vents *chinook* des versants est des Montagnes Rocheuses au Canada et aux États-Unis d'Amérique et le *föhn* sur les versants sud des Alpes en Europe.

Ce sont également les différences de pression atmosphérique qui sont responsables des chutes de pluie et de neige ainsi que des orages accompagnés de grêle. Les inondations qui en résultent peuvent ou bien être bénéfiques ou bien désastreuses. Tout comme les séismes, des chutes de pluie très importantes peuvent provoquer des glissements de terrain et des avalanches.

Les différentes causes de catastrophes naturelles que nous analyserons dans la présente étude sont les suivantes :

<i>Causes d'origine sismique</i>	<i>Causes dues à des différences de pression atmosphérique</i>
Séismes	Cyclones tropicaux violents
Glissements de terrain	Vents violents
Avalanches	Pluies importantes et inondations
Tsunamis	Ondes de tempête
Éruptions volcaniques	Vents locaux violents
Coulée de lave	Précipitations entraînant des inondations ou des avalanches
Gaz incandescents	Pluie
Cendres	Neige
Secousses telluriques	Grêle

1. Connus aussi sous le nom d'ouragans ou de typhons.

Tableau 1. Nombre des décès dus aux catastrophes naturelles pendant la décennie 1966-1975

Type de catastrophe naturelle	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	Totaux
Séisme	2 948	451	10 721	3 322	55 380	1 244	11 493	97	1 024	2 465	89 145
Tsunami	3	0	392	0	0	1	0	0	0	2	398
Cyclone/onde de tempête	0	0	1 000	800	400 694 ^a						402 494
Eruption volcanique	247	0	78	5	0	30	0	0	0	0	360
Glissement de terrain						414 ^b	572	128	1 128	84	2 326
Avalanche						23 ^b	75	20	18	33	169
Totaux	3 198	451	12 191	4 127	456 074	1 712	12 140	245	2 170	2 584	494 892

a. Arrêt des recensements en 1971.

b. Début des recensements en 1971.

Source: Données résumées établies à partir de: Unesco, *Annual summary of information on natural disasters*, 1966-1975 [3].

Le coût des catastrophes naturelles en vies humaines

Pour contribuer à la réflexion sur les actions à envisager en priorité, et qui font l'objet de la troisième partie de notre étude, il est nécessaire de se livrer à une comparaison entre les différents types de catastrophes naturelles tels que décrits ci-dessus. Dans l'idéal, il s'agirait d'évaluer les conséquences de telles catastrophes en nombre de morts et de blessés, en quantité de biens détruits soit partiellement, soit totalement (édifices, bétail et récoltes y compris), comme en terme de préjudice porté à l'économie. Cela supposerait que l'on disposât d'un certain nombre de données, qui, soit n'ont pu être collectées, soit sont difficiles à évaluer, notamment en matière de dommages économiques. S'il est possible, d'une manière globale, de faire une estimation des pertes en vies humaines, c'est parfaitement impossible en ce qui concerne les biens. La catastrophe de 1970 au Bangladesh en est une illustration: si, selon le bilan officiel, les pertes en vies humaines se sont élevées approximativement à 400 000 morts, pour autant qu'on le sache, aucune estimation n'a jamais été faite des récoltes perdues et des habitations détruites. Il faut donc se résoudre à utiliser comme unité de mesure un indicateur qui donne des chiffres aussi exacts que possible: par exemple le nombre de morts. Le tableau 1 présente, pour la décennie 1966-1975, le nombre de décès dus à diverses catastrophes naturelles.

Ce tableau est intéressant à double point de vue. D'abord, il montre combien il est difficile de rassembler des données concernant les catastrophes naturelles. L'année 1970 marque la fin des recensements internationaux sur les cataclysmes causés par des cyclones tropicaux. Un chercheur en quête d'informations sur un cyclone survenu

après cette date doit compulsier les archives locales puisque, à notre connaissance, il n'y a aucune instance internationale qui collecte des informations de cette sorte. La raison en est que la météorologie n'étudie pas seulement les cyclones mais tous les phénomènes météorologiques. Aussi, n'y a-t-il pas, comme dans la sismologie, un seul centre d'intérêt.

Comme on pouvait s'y attendre, les séismes font l'objet d'une collecte de statistiques satisfaisante et ont l'avantage de bénéficier de l'étude des effets physiques engendrés par chaque secousse, ce qui enrichit le stock des connaissances en ce domaine. (L'échelle d'intensité MSK a été élaborée à partir de telles informations.) Les séismes se manifestent notamment par des glissements de terrain, la destruction de grands barrages et autres ouvrages d'art. En y ajoutant le total du nombre des blessés et des morts, on obtient un rapport complet sur tel ou tel séisme.

Ce n'est qu'en 1971 que l'on a commencé, au niveau international, à rassembler des statistiques sur les glissements de terrain et les avalanches; or, il est étrange que cela soit la même année que l'on arrêta de le faire pour les désastres causés par les cyclones.

Les tsunamis, surtout ceux affectant la zone Pacifique, font l'objet d'études à l'échelle internationale. Les tsunamis existent dans d'autres régions, mais leurs conséquences sont moins catastrophiques. Les éruptions volcaniques font également l'objet de rapports complets (ce sont des phénomènes sismiques), mais habituellement les morts et les biens endommagés sont en nombre limité car les populations vivent rarement dans ces zones à risque, aussi est-il donc exceptionnel que des personnes soient directement touchées par une éruption volcanique. Cependant, là où ils se produisent, les cataclysmes d'origine volcanique atteignent généralement des dimensions in-

quiétantes. Toutefois, il n'en sera pas tenu compte dans la présente étude, car il n'y a pas grand-chose à faire, tant du point de vue de la conception que de celui de la construction des bâtiments scolaires, pour éviter qu'une ville ou un village subissent des dommages lorsqu'un volcan, jusque-là endormi, entre en éruption.

Le second point important mis en évidence par le tableau est d'ordre quantitatif, et concerne les préjudices causés aux personnes. Selon le nombre de morts qu'elles entraînent, les catastrophes naturelles se classent comme suit :

Cyclones (dégâts occasionnés par le vent et l'onde de tempête)

Séismes

Glissements de terrain

Tsunamis (dans le Pacifique)

Éruptions volcaniques

Avalanches

Si l'on en juge par le nombre de morts, on notera que ce sont les cataclysmes provoqués par de violents cyclones tropicaux qui sont les plus graves. Pourtant, les données semblent indiquer que les cyclones en tant qu'agents de catastrophes sont moins fréquents que les séismes. Il se peut que, dans ce cas, les statistiques soient trompeuses ; mais il faut rappeler que les cataclysmes provoqués par des cyclones peuvent être atténués si l'alerte a été donnée au préalable, ce qui n'est guère possible lors d'un séisme où les pertes en vies humaines sont toujours nombreuses.

Peut-être que les dommages que subissent les biens matériels permettraient une meilleure estimation de la gravité de ces différentes catastrophes naturelles puisque, ne pouvant être déplacés, ils sont affectés aussi bien par les cyclones que par les séismes. Mais, nous l'avons fait remarquer, il est difficile de collecter et encore plus de comparer des informations de cette sorte.

Les chiffres du tableau 1 nous portent donc à nous intéresser au premier chef aux catastrophes naturelles provoquées par les cyclones et les séismes.

On remarquera que deux causes possibles de cataclysmes, les tornades et le feu, manquent sur la liste des catastrophes naturelles. Les tornades frappent principalement les États-Unis d'Amérique où des systèmes d'alerte et des méthodes de construction adaptées ont été mis au point, de manière à limiter la gravité des dégâts occasionnés par le vent. Il n'est, semble-t-il, guère utile de s'étendre ici sur un domaine où existe une si bonne organisation. Les incendies, eux, dont le risque est évident dans les zones de broussailles sèches ou de forêt, ne touchent, en pratique, que rarement les écoles et leur prévention relève de la planification urbaine plutôt que de

la conception et de la construction des bâtiments. Cette question fait d'ailleurs l'objet d'une étude de l'Organisation des Nations Unies et ne semble pas devoir être évoquée en tant que telle dans une analyse des catastrophes naturelles affectant les écoles.

Distribution dans l'espace des catastrophes naturelles

On a dit, au début de ce chapitre, qu'une catastrophe naturelle était un véritable désastre. Les vents violents et les cyclones dans les zones littorales du golfe du Bengale provoquent généralement des conséquences effroyables, ce que des conditions atmosphériques semblables le long des côtes de l'Europe, par exemple, n'auraient vraisemblablement pas.

Les cataclysmes sont liés à la fréquence avec laquelle des phénomènes naturels potentiellement catastrophiques se produisent. Les eaux marines bordières de l'Europe sont agitées de tempêtes pendant une grande partie de l'hiver, mais les populations vivant le long du littoral y sont habituées et les maisons sont construites de manière à pouvoir résister à des vents violents. Quand une grosse tempête s'abat sur une ville du littoral, cela peut n'avoir pour toute conséquence que de contraindre les gens à rester chez eux devant leur télévision jusqu'à ce que la tempête se soit apaisée. La vie, les constructions et même l'agriculture sont adaptées au mauvais temps hivernal, qui, en d'autres lieux, serait catastrophique.

Aussi faut-il faire une distinction entre *risque* et *vulnérabilité*. Au Japon, par exemple, le risque qu'une catastrophe naturelle se produise est élevé, mais, les Japonais étant bien préparés à y faire face, la vulnérabilité de ce pays est faible comparée à celle du Bangladesh, par exemple, où un cyclone, repéré plusieurs jours avant qu'il n'atteigne la côte, provoqua la mort de 400 000 personnes.

On doit savoir que les cyclones d'une violence extrême sont potentiellement générateurs de catastrophes là où ils se produisent rarement. Ces zones à risque se situent, approximativement, entre les Tropiques, entre 30° S et 30° N, à l'exclusion de la zone des calmes équatoriaux. La figure 1 représente les aires de la surface du globe où les catastrophes naturelles sont généralement imputables aux effroyables conditions météorologiques engendrées par un violent cyclone.

Alors que l'homme a appris à s'acclimater au mauvais temps qui sévit au niveau des deux pôles, il n'a jamais pu s'adapter aux séismes. Certes, dans beaucoup de pays fréquemment touchés par les séismes, les populations s'habituent aux tremblements du sol et des maisons et, au

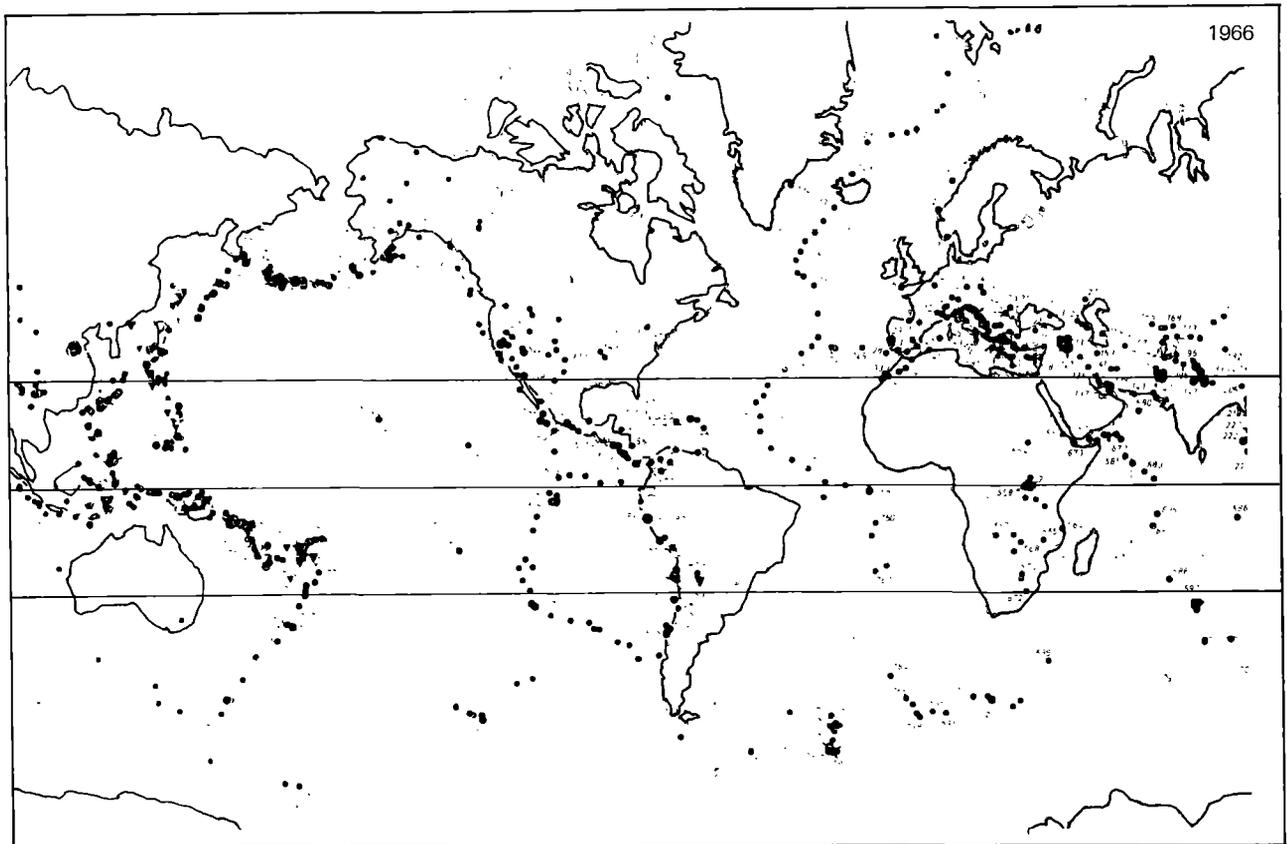
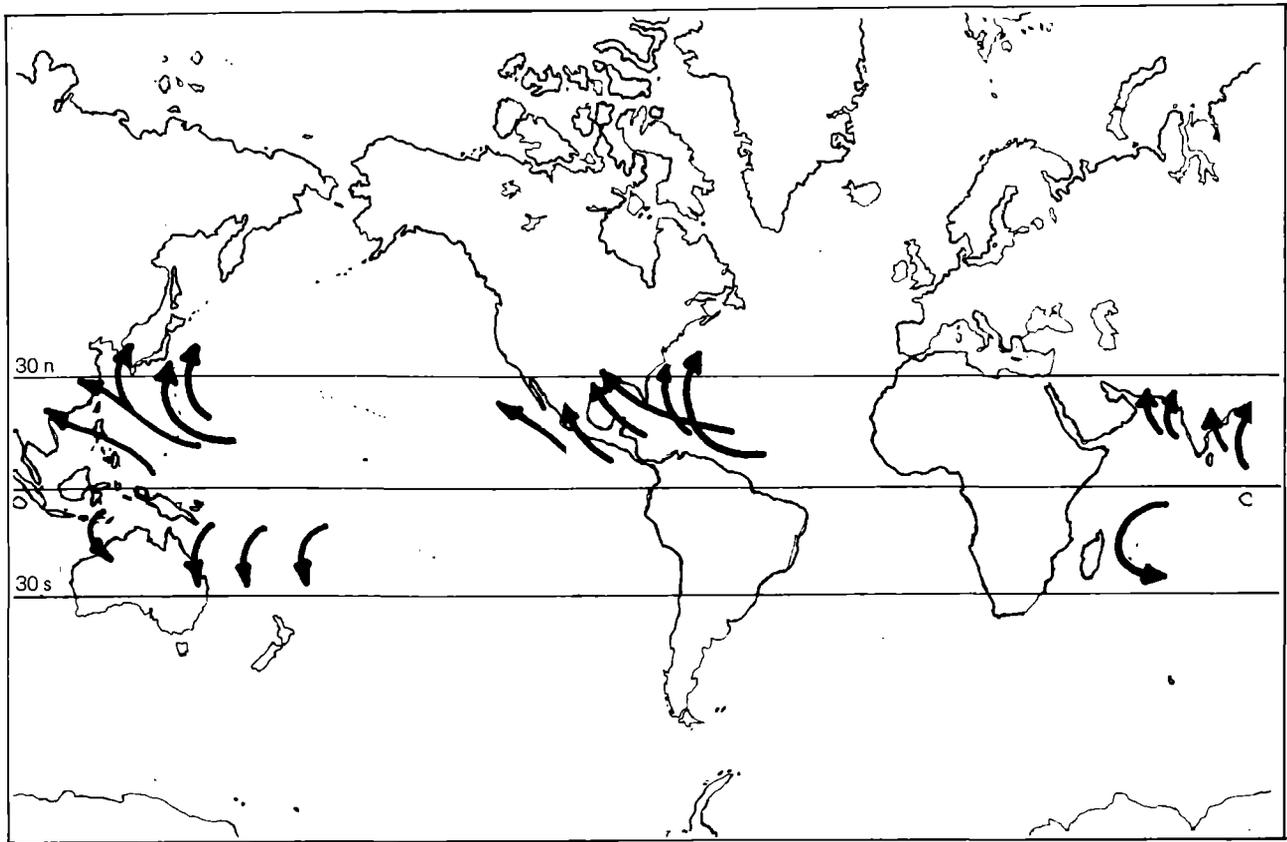


FIG. 2. Épicentres des tremblements de terre enregistrés en 1966.

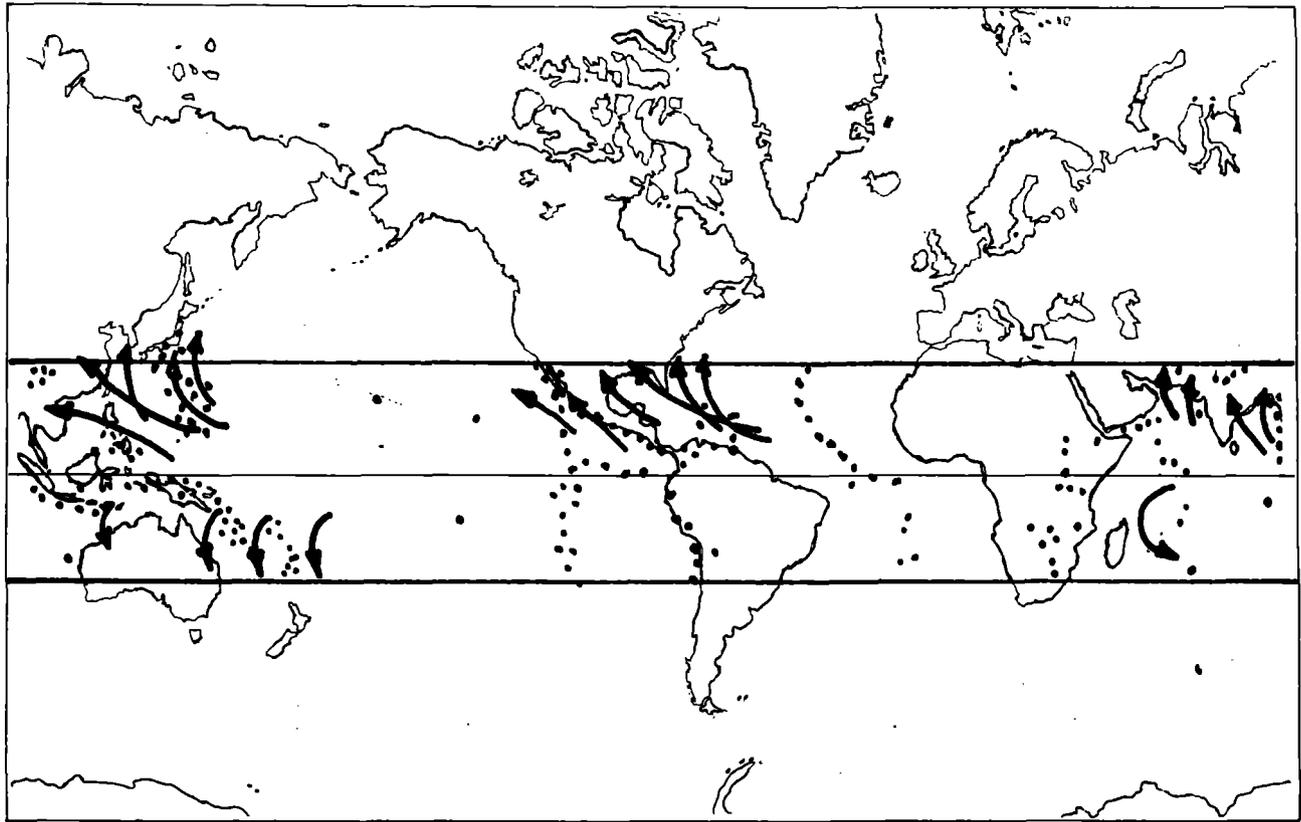


FIG. 3. Carte où sont représentés à la fois les épicentres des séismes de 1966 et les zones à risque de violents cyclones.

fil des siècles, ont mis au point diverses méthodes locales de constructions conçues pour résister à des secousses telluriques mineures et pour réduire au minimum les risques d'accidents mortels. En Afghanistan, par exemple, il ne se passe guère un mois sans qu'il ne se produise un ou deux phénomènes sismiques dont les Afghans paraissent ne faire aucun cas et auxquels leurs maisons de terre, de forme massive et avec de petites fenêtres, semblent résister sans trop de dommage.

Pourtant, même dans ces régions, où qu'il se produise, un séisme de grande ampleur provoquerait assurément un véritable désastre. A la différence du cyclone, dont les vents deviennent lentement de plus en plus froids et violents, le séisme, lui, peut survenir brusquement et s'arrêter en quelques secondes.

La figure 2 représente les épicentres des séismes qui se sont produits en 1966. Au cours des années qui ont suivi, la répartition des séismes est à peu près la même. On remarquera que, contrairement aux violents cyclones tropicaux, les séismes ne sont pas cantonnés dans la zone des Tropiques mais sont liés à certaines conditions géologiques réparties sur toute la surface du globe. Les trois zones principales d'activité sismique apparaissent avec netteté. Elles se situent en bordure de l'océan Pacifique,

dans la partie ouest de l'Asie avec une ligne suivant plus ou moins un parallèle traversant l'Inde et le Népal pour aller rejoindre les zones du Pacifique et, enfin, au niveau d'une bande approximativement de direction nord-sud qui traverse l'océan Atlantique.

Si l'on considère ensemble les deux causes principales de catastrophes naturelles, le cyclones et les séismes, et si l'on superpose les figures 1 et 2, on obtient une représentation de la portion du globe où le risque de catastrophes naturelles est le plus élevé. C'est ce qui a été fait sur la figure 3 où l'on voit que cette zone se situe en gros entre les latitudes 30° S et 30° N.

On peut faire plusieurs remarques à ce propos. Premièrement, il faut savoir que l'éventualité qu'un séisme et qu'un violent cyclone puissent survenir en même temps est si faible qu'elle ne vaut même pas la peine d'être envisagée. Les constructions scolaires devraient donc être conçues de manière à pouvoir résister à ces deux types de phénomènes, mais se produisant séparément. Deuxièmement, les zones à risque coïncident, dans l'ensemble, avec les zones présentant la plus grande vulnérabilité. Troisièmement, beaucoup de zones menacées — pas toutes, naturellement — sont côtières et/ou montagneuses.

Bibliographie annotée

1. UNESCO. *The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976*. Partie I: *Les monuments historiques du Frioul après le séisme du 6 mai 1976*, par Pierre Pichard; Partie II: *The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976*, par N. N. Ambraseys; Partie III: *Educational facilities in the area of Friuli, destroyed by the earthquake of 6 May 1976*, par G. N. Ziogas. Paris, Unesco, 1976. (DOC.FMR/CC/SC/ED/76/169).

Rapport établi par l'Unesco pour le gouvernement italien.

2. DONN, W. L. *Meteorology with marine implications*. New York, McGraw-Hill, 1951.

Contient une liste de vingt noms locaux de vents violents en Europe, en Afrique et en Amérique.

3. UNESCO. *Annual summary of information on natural disasters*. Paris, Unesco, 1966-1975.

Les dix volumes de rapports annuels rendent compte des principaux séismes, tsunamis, ondes de tempête et éruptions volcaniques survenus au cours de la période 1966-1979. Les rapports sur les ondes de tempête cessèrent fin 1970; en revanche, on commença à rendre compte des glissements de terrain et des avalanches à partir de 1971. Dans chaque volume, l'essentiel des informations concernent les séismes ou les phénomènes induits par ces derniers. Seulement une faible proportion des informations ont trait aux catastrophes naturelles au sens où nous l'entendons dans cette étude, c'est-à-dire aux phénomènes naturels provoquant des dommages matériels et tuant ou blessant des personnes. Ces informations n'en sont cependant pas moins intéressantes car elles brossent un tableau exhaustif de la répartition et des effets destructeurs de cataclysmes dus aux séismes durant une décennie.

Du jour où survint l'onde de tempête la plus grave qui ait été enregistrée — au Bangladesh en 1970 — il n'a plus jamais été rendu compte des ondes de tempête sous prétexte que les informations concernant les violents cyclones tropicaux figuraient dans le *Monthly weather review*. Ce bulletin, publié par l'American Meteorological Society, est spécialisé dans tout ce qui concerne la science météorologique dans le monde, et particulièrement dans les zones proches des États-Unis d'Amérique. Certes, il ne fait pas état tous les mois, de manière systématique, des catastrophes naturelles se produisant — d'ailleurs, tel n'est pas le but des éditeurs — toutefois, il y est traité des principaux cyclones qui présentent un intérêt météorologique.

On trouvera ci-après les références d'ouvrages à caractère général qui, bien que non cités dans le texte, sont une source d'information utile sur les questions évoquées dans ce chapitre:

4. MANNING, D. H. *Disaster technology. An annotated bibliography*. Oxford, Pergamon Press, 1976.

Cette bibliographie offre un panorama général utile de tous les types de catastrophes naturelles considérées au sens large, famine y compris. Cette bibliographie, à laquelle l'auteur a adjoint des résumés et des analyses d'ouvrages, est d'une certaine utilité en ce qu'elle dresse un tableau général de tout ce qui concerne les catastrophes naturelles. On y trouve des renseignements sur diverses questions d'ordre matériel, sur les secours, les problèmes médicaux, les réactions de la population et les aspects technologiques des catastrophes naturelles. Un coup d'œil à cet ouvrage rappellera aux lecteurs qu'une catastrophe naturelle comporte bien d'autres aspects que ceux évoqués dans notre étude, plus spécialement orientée vers les problèmes de construction. En brossant ce tableau, l'auteur, nous semble-t-il, corrobore notre propos qui est de favoriser la conception et la construction d'écoles capables de résister aux catastrophes naturelles. L'auteur montre ainsi que les propositions faites dans les

ouvrages spécialisés manquent souvent de réalisme puisque beaucoup de pays à risque n'ont tout simplement pas les ressources nécessaires pour pallier les dommages provoqués par les catastrophes naturelles.

5. COHEN, S. P.; RAGHAVULI, C. V. *The Andhra cyclone of 1977: Individual and institutional responses to mass death*. Delhi, Vikas, 1979.

Ce livre retrace de manière vivante, au moyen d'entretiens avec les personnes ayant survécu au cataclysme, la façon dont le cyclone s'est développé et la réaction des populations, où elles ont trouvé refuge, comment les constructions où elles se sont abritées ont été inondées et se sont petit à petit effondrées. Il faut lire cet ouvrage, d'abord pour que chaque concepteur comprenne mieux la nature des forces en jeu lors d'une catastrophe naturelle, et ensuite, pour renforcer l'idée de la nécessité de construire des bâtiments capables de résister à de tels événements, qui puissent être aussi des abris pour les populations.

Les phénomènes physiques

Introduction

Ce chapitre a pour but d'exposer, en termes simples, les aspects physiques des divers phénomènes qui donnent naissance aux catastrophes naturelles dont il est question dans cette étude. Nous avons choisi une approche descriptive. En effet, l'une des décisions à prendre au sujet du contenu d'un manuel destiné aux concepteurs — ce qui fera l'objet de la troisième partie de cette étude — est la suivante: il faut déterminer dans quelle mesure, en matière de construction, les règles empiriques et simples sont préférables à certaines des méthodes plus rigoureuses employées, méthodes d'ailleurs excellemment décrites dans les ouvrages techniques et dont les règles de construction de certains des pays menacés commandent le respect.

Les séismes

La plupart des séismes proviennent d'un mouvement ou glissement le long de plans de faille dans l'écorce terrestre. Ce glissement peut se produire à n'importe quelle profondeur au-dessous de la surface du globe, mais ce sont les failles peu profondes qui provoquent les séismes les plus destructeurs.

Le mouvement lui-même exerce de violentes pressions sur le terrain environnant qui, en raison de son élasticité, vibre d'autant plus que les matériaux et les structures géologiques affectés par les vibrations sont très divers. En simple, on peut dire qu'il se produit deux sortes de vibrations majeures. Une première vibration s'exerce d'arrière en avant le long de n'importe quelle ligne tracée depuis le foyer du séisme. La particule de terre agitée d'arrière en avant est également soulevée vers le haut et le bas, et décrit ainsi, par la conjonction de ces deux mouvements, une ellipse rétrograde (voir fig. 4). Une deuxième vibration additionnelle se produit perpendiculairement ou transversalement à l'axe principal de vibration (voir aussi fig. 4).

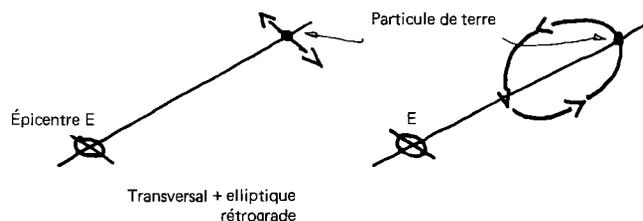


FIG. 4. Mouvement à la surface de la terre dû à un séisme.

A partir de ce schéma très simple, on pourrait penser que tout bâtiment construit sur la surface de la terre ou légèrement au-dessous, du fait des vibrations subies, serait soumis à des efforts et donc à des tensions importantes. Or une construction très légère faite d'une ossature de bambou, de murs et d'un toit composés de roseau n'est pas détruite, car elle bouge sur ses assises en même temps que le sol. Cette idée a certainement prévalu au Japon — où les secousses telluriques sont très fréquentes — avec l'invention de très légères maisons à ossature de bois et portes et fenêtres de papier. En revanche, les lourdes constructions de terre ou de pierres ne peuvent que difficilement, à cause de leur «masse», suivre le mouvement du sol, et les tensions subies provoquent le plus souvent des fissures dans les murs, voire l'écroulement de l'édifice. Il est à regretter que, dans les zones tropicales où les risques de séismes sont importants, les forêts soient en passe d'être rasées, de sorte que les populations ont de plus en plus de mal à trouver du bois pour construire leur maison et le remplacent par la terre et la pierre, augmentant ainsi le danger d'effondrement.

Une des caractéristiques des grandes catastrophes sismiques enregistrées au cours de la période 1966-1975 [1] est que les édifices ayant subi des dégâts se trouvent surtout dans les régions où la tradition est de construire des bâtiments massifs (pierre, brique et béton) et rarement là où les maisons sont construites en bambou ou en bois. Ainsi, pour un séisme de même intensité, le nombre de morts est sensiblement moins élevé sous les Tropiques où le climat est humide qu'il le serait dans les zones plus sèches.

La figure 5 représente le mouvement auquel un bâtiment est soumis lors d'un séisme. Ces schémas simples illustrent les principaux mouvements qui se produisent vraisemblablement et dont il faut tenir compte dans la conception des écoles de petites dimensions. Ce qui fait la différence, du point de vue de la conception, entre les écoles de petites et de grandes dimensions — soumises, bien évidemment, aux mêmes efforts — c'est que si les méthodes empiriques peuvent convenir dans le cas des écoles de petites dimensions, dans le cas des grandes, en revanche, on ne saurait se passer de plans mûrement étudiés par des spécialistes.

On ne saurait naturellement concevoir un bâtiment sans connaître les efforts auxquels il risque d'être soumis; or il faut pour cela mesurer l'intensité des séismes. De nombreuses échelles d'intensité ont été mises au point: celles de Rossi, Forel, Mercalli et, plus récemment, l'échelle MSK de Medvedev, Sponheuer et Karnik. Ces échelles sont, pour la plupart, généralement en accord

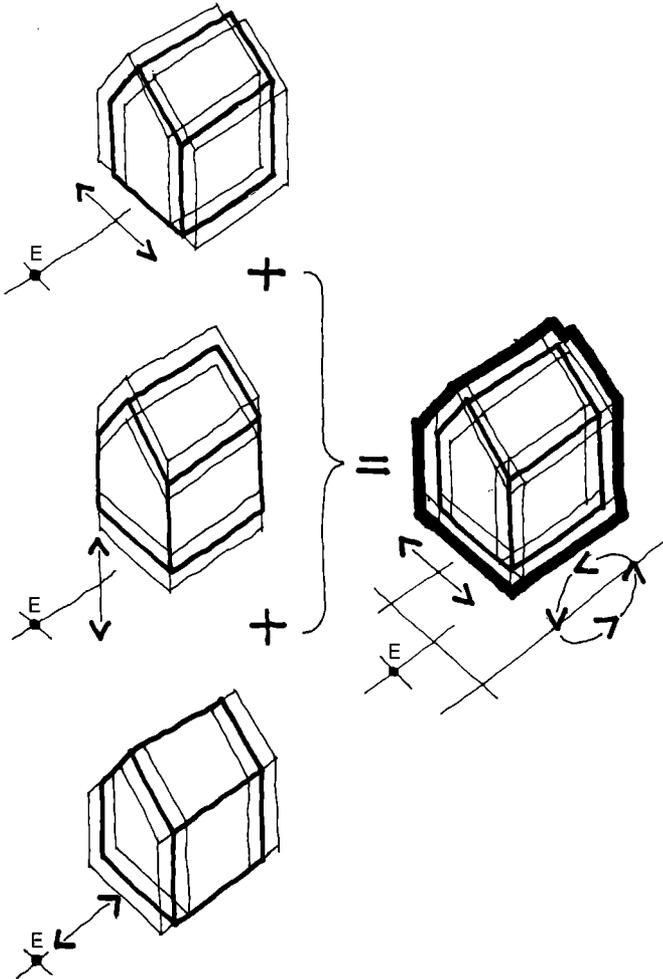


FIG. 5. Mouvement d'un petit bâtiment lors d'un séisme.

pour les intensités les plus basses. L'échelle MSK présente cependant l'avantage d'être plus précise en ce qu'elle tient compte des effets du séisme, dont l'intensité dépend.

Le tableau 2 reproduit l'échelle MSK. Les colonnes principales, types A, B et C, définissent le type de construction. Les lettres Q, N et P représentent le pourcentage de constructions endommagées. Les nombres dans la colonne indiquent la nature des dégâts, depuis une fissuration légère qui correspond à 1, à l'effondrement total qui correspond à 5.

Ainsi, par exemple, A N3 signifierait qu'environ 50% des maisons rurales en pisé ou en briques crues auraient vraisemblablement leurs murs profondément lézardés au cours d'un séisme d'intensité VII. Un tel séisme causerait une peur telle chez les populations qu'elle les conduirait à sortir de leur maison, outre qu'elles auraient beaucoup de difficulté à se tenir debout. Une secousse tellurique d'intensité VII pourrait également provoquer des glissements de terrain; les routes pourraient se fissurer et les canalisations enterrées être endommagées.

Tableau 2. L'échelle MSK concernant l'intensité d'un séisme

Intensité	Type A			Type B			Type C		
	Q	N	P	Q	N	P	Q	N	P
VI	2	1	.	1
VII	4	3	.	2	.	.	.	1	.
VIII	5	4	.	4	3	.	3	2	.
IX	.	5	.	5	4	.	4	3	.
X	.	.	5	.	5	.	5	4	.

Les tsunamis

Les tsunamis sont des vagues sismiques marines engendrées par des séismes ou, plus rarement, par des éruptions volcaniques au fond de l'océan. Le mot « tsunami » vient du japonais *tsu* signifiant port et *nami* les vagues, soit « vagues du port ». Seul à être ceinturé par une zone d'activité sismique (voir la figure 2), l'océan Pacifique est le lieu de la plupart des tsunamis. Les tsunamis du Pacifique ont la particularité de parcourir une longue distance depuis leur foyer. Par exemple, en 1960, un tsunami dont le foyer se trouvait au Chili, en Amérique du Sud, tua ou blessa 300 personnes à Hilo dans les îles Hawaii, et 24 heures environ après sa formation atteignit le Japon où 200 personnes disparurent et 75 000 bateaux et 5 000 édifices furent endommagés.

Comme indiqué sur la figure 4, on se souviendra que le mouvement d'une particule que fait vibrer l'énergie

libérée par le glissement le long d'un plan de faille a une composante verticale. Quand ce mouvement vertical a une certaine importance, il se produit un déplacement d'eau de mer, et une série de vagues, toutes animées d'un mouvement vers l'avant, se forment alors. Tandis que la longueur de ces vagues peut être considérable, leur hauteur est généralement inférieure à 30 centimètres dans les océans profonds. Le mouvement vers l'avant des vagues est néanmoins rapide, et atteint souvent plusieurs centaines de kilomètres à l'heure.

La profondeur de la mer exerce une influence décisive sur la vague. On peut observer deux effets quand le littoral est atteint et que la profondeur de l'eau est moindre. D'abord, la vitesse de translation vers l'avant des vagues décroît. En second lieu, il se produit une brusque élévation de la hauteur de la vague. On a enregistré des vagues de 30 à 60 mètres de hauteur déferlant sur le littoral provoquant la destruction quasi totale des villes et des villages côtiers. Les effets des tsunamis s'intensifient dans les baies où les vagues, pénétrant dans des zones de profondeur et de largeur décroissant en même temps, atteignent des hauteurs encore plus grandes et sont encore plus destructrices.

En ce qui concerne le préjudice aux personnes, les tsunamis diffèrent des séismes dans la mesure où il est relativement possible de prévenir les populations de leur arrivée. C'est une caractéristique qu'ils ont en commun avec les violents cyclones tropicaux.

Les volcans

Un volcan est une ouverture où l'intérieur et la surface de la terre communiquent, et par où sortent de la roche en fusion et des gaz. La roche en fusion s'écoule des profondeurs jusqu'à la surface: c'est la lave. La température la plus basse d'une coulée de lave est de l'ordre de 700 ° C. Il y a également production de gaz à haute température comprenant du soufre sous diverses formes, du chlore, du gaz carbonique, pour ne mentionner qu'un petit nombre des plus toxiques d'entre eux.

Les volcans sont situés sur le pourtour de l'océan Pacifique; une zone de volcanisme très active va du Pacifique à la Méditerranée en passant par l'Indonésie où se trouve le plus grand ensemble de volcans actifs. Il n'est pas sans intérêt de noter que c'est dans cette même ceinture du Pacifique que se situent plusieurs des zones présentant le plus de séismes au monde.

Les glissements de terrain

Un des effets secondaires, à la fois des séismes et des volcans, est le glissement de terrain. Un glissement de terrain provoqué par un tremblement de terre est constitué par le fait que des matériaux se détachent des flancs de la montagne. Les routes et les chantiers de construction qui entaillent les versants de montagne peuvent contribuer à le déclencher quand une opération de déblai a été conduite sans les précautions voulues, puisque, ayant perdu une partie de son support, le matériau amont est devenu moins stable. Il se peut également que l'eau de pluie s'accumule dans les zones en déblai et que, par infiltration à travers le matériau sous-jacent, elle lubrifie ou liquéfie le plan naturel de cisaillement, créant ainsi des conditions favorables au glissement de l'ensemble du site.

Évidemment, de très fortes chutes de pluie peuvent à elles seules avoir le même effet et un glissement de terrain peut se produire sans tremblement de terre. Des pays situés sous les tropiques humides, tels que Sri Lanka, qui ne sont pas des zones à risque sismique, sont le siège de fréquents glissements de terrain qui, à l'occasion, emportent des constructions.

Le vent (généralités)

Qu'il s'agisse de la plus douce des brises du large qui apporte du soulagement lors d'une chaude journée sous les tropiques humides, ou de vents cycloniques qui soulèvent les toits et détruisent les édifices, le vent est le résultat de différences de températures et de pressions à différents endroits de la surface de la terre.

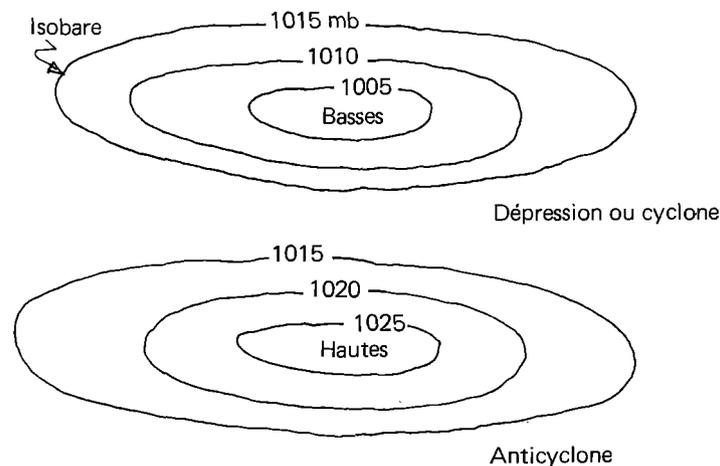


FIG. 6. Représentation de l'état des pressions atmosphériques.

De manière générale, l'air va des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Ce mouvement est rarement simple car il est soumis à la fois à l'influence de la rotation de la terre et à celle des frottements de surface. La pression atmosphérique moyenne est de 1 013,2 millibars (mb), mais généralement la pression en un lieu et à un moment donnés est soit moindre, soit supérieure à ce chiffre.

On représente conventionnellement l'état des pressions atmosphériques sous la forme de cartes sur lesquelles les points d'égale pression sont reliés par des lignes appelées isobares. On peut tracer les isobares selon un intervalle quelconque, mais très généralement, on les trace tous les 3 ou 5 millibars de différence de pression, comme il est fait par exemple à la figure 6.

Dans les deux situations représentées sur la figure 6, le gradient de pression est élevé là où les isobares sont les plus rapprochées. Comme l'air va des zones de hautes pressions aux zones de basses pressions, le flux le plus important se produira là où les différences de pression sont physiquement les plus proches, c'est-à-dire dans les

zones où le gradient de pression est le plus fort. La figure 7 montre le sens de l'écoulement d'air dans les deux situations représentées sur la figure 6.

Comme on l'a mentionné plus haut, le sens de l'écoulement d'air est influencé par la rotation de la terre qui, vue du pôle Sud tourne dans le sens des aiguilles d'une montre et, vue du pôle Nord, dans le sens inverse. Donc, dans l'hémisphère Nord, un vent soufflant en direction du nord semblera se dévier vers l'est, et un vent soufflant dans la direction opposée se dévier vers l'ouest, comme il est indiqué sur la figure 8. Cette figure montre également une situation similaire dans l'hémisphère Sud. La raison des vents «circulaires», qui sont une des caractéristiques des tempêtes cycloniques, devient évidente (voir fig. 9).

Violents cyclones tropicaux

Si l'étendue d'un désastre se mesure au nombre de morts, alors le cyclone tropical, de par sa violence, est la principale catastrophe naturelle. Tandis qu'on enregistrait 54 000 morts lors du pire séisme qui se soit produit entre 1966 et 1975, à la suite du cyclone qui sévit au Bangladesh les 12 et 13 novembre 1970, on estima le nombre des morts entre 200 000 et 400 000.

Un violent cyclone tropical comprend une zone de très basse pression. Le 6 octobre 1973, un avion descendit enregistreur de pression au centre du cyclone Nora, au-dessus de la mer des Philippines. La pression enregistrée a été de 877 mb au niveau de la mer, soit 136 mb au-dessous de la pression moyenne (1 013 mb), ce qui est la plus basse pression jamais mesurée. Plus généralement,

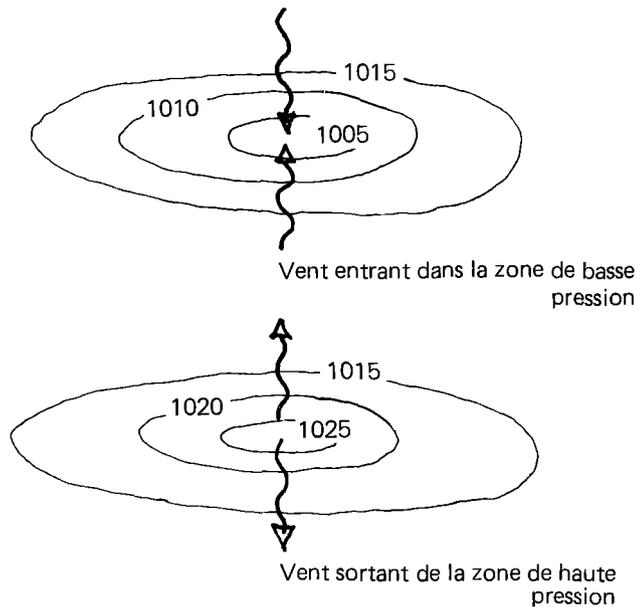


FIG. 7. Sens du vent dû à la pression atmosphériques.

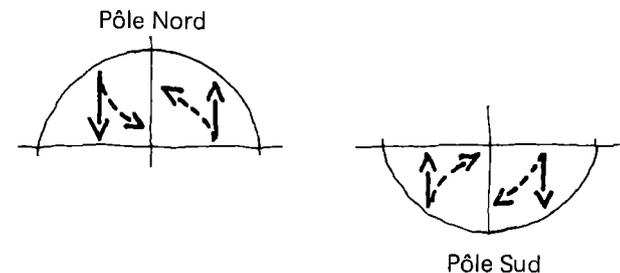


FIG. 8. Sens du vent et rotation de la terre.

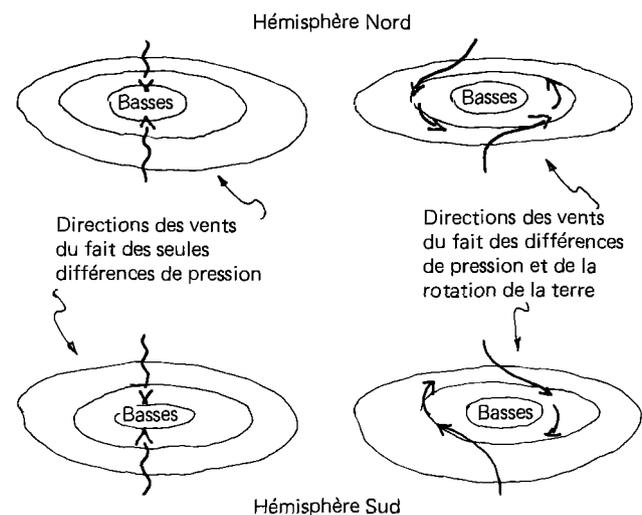


FIG. 9. Sens du vent et développement des cyclones.

la pression lors d'un violent cyclone tropical se situe entre 900 et 1 000 mb.

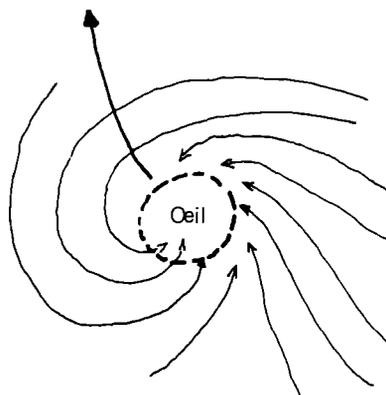
La figure 10 représente un cyclone type arrivé à maturité. On peut noter plusieurs éléments :

1. L'« œil » ou zone où la pression est la plus basse. Une zone relativement calme au-dessus de laquelle le ciel est plus ou moins dégagé; le diamètre de l'œil varie de 20 à 150 km, mais est couramment de l'ordre de 30 km.
2. La zone totale touchée par des vents violents et de la pluie: un cercle d'à peu près 800 km de diamètre.
3. Les vents autour de l'œil soufflant à des vitesses de plus de 120 km à l'heure (33 m par seconde) mais généralement à 160 km à l'heure ou plus (on a enregistré des vents de 320 km à l'heure).
4. Fortes chutes de pluie: généralement 250 à 300 mm au cours du passage du cyclone (il est possible d'avoir 1 000 mm).
5. L'ensemble avance à une vitesse de 15 à 30 km à l'heure.

L'endroit où se trouve le cyclone, sa direction, l'état des marées et des rivières au moment de son passage peuvent en accentuer grandement les effets.

Tout d'abord, une baisse de 1 mb au-dessous de la pression barométrique moyenne dans l'œil du cyclone entraîne une élévation du niveau moyen de la mer de l'ordre de 1 cm. Ainsi, si la pression dans l'œil est de 913 mb, le niveau moyen de la mer s'élèvera de 1 mètre. Dans les conditions de pression exceptionnelles du cyclone Nora dont nous avons parlé plus haut, le niveau de la mer dans l'œil a dû monter de 1,36 m au-dessus de la moyenne — on doit alors imaginer un cylindre d'eau, de 1,36 m de hauteur et de 30 km environ de diamètre, se

Le cyclone se déplace vers le nord en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre



Les vents soufflent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre

FIG. 10. Un violent cyclone tropical (hémisphère Nord).

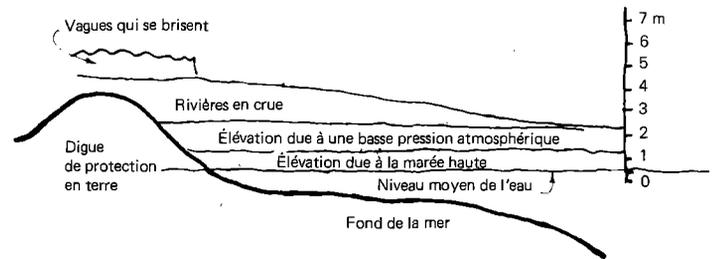


FIG. 11. Élévation du niveau de l'eau sur le littoral lors d'un violent cyclone tropical.

déplaçant à une vitesse comprise entre 15 et 30 km à l'heure.

En second lieu, si le cyclone approche d'une zone enserrée, comme le haut du golfe du Bengale, ce cylindre d'eau se rétrécit en largeur et sa hauteur augmente encore. Si, en outre, la marée est haute, et si les rivières qui se jettent dans le golfe sont en crue, le niveau de l'eau montera encore plus. C'est la situation décrite par la figure 11. Si la région est une zone de delta de faible altitude, la mer déferlera dans une énorme vague sur la terre, la recouvrant sur une longue distance. Au Bangladesh, en 1970, c'est un tel concours de circonstances qui a occasionné l'onde de tempête qui est passée par-dessus la digue de protection de 5 mètres et qui a inondé l'intérieur des terres sur une distance supérieure à 20 km. Les eaux ont formé alors un grand lac à la surface duquel les violents vents cycloniques produisaient de fortes vagues qui, finalement, ont détruit tous les bâtiments et noyé tous ceux qui avaient survécu à l'onde de tempête initiale.

Dans d'autres parties du monde où les terrains se trouvent suffisamment au-dessus du niveau des eaux pour ne pas être affectés par leur montée, le vent est, en lui-même, un agent destructeur. Aux Caraïbes, par exemple, ils causent des dégâts matériels presque chaque année.

Vents violents locaux

Les tempêtes localisées sont, bien sûr, dues aux mêmes phénomènes de différences de température et d'irrégularités de pression mais elles sont liées à la topographie du lieu; elles ont souvent un nom local, par exemple:

Bore: Nord de l'Adriatique; soufflant du nord; froid.

Chubasco: côte Ouest tropicale de l'Amérique du Nord; violents grains.

Cordonazo: côte Ouest du Mexique; vents forts issus d'un cyclone passant à proximité.

Gragale: Méditerranée; vents forts Nord-Est.

Harmattan: Ouest de l'Afrique; vent fort soufflant du Sahara.

Pampero: pampas d'Amérique du Sud; grains Nord-Ouest.

Tchantepecer: Sud-Ouest du Mexique et Amérique centrale; vent fort à violent.

Il y a, bien sûr, beaucoup d'autres noms locaux et cette liste est loin d'être complète. Cependant, les vents décrits ont, généralement, deux caractéristiques communes.

En premier lieu, ils naissent en un temps apparemment court et soufflent pendant des périodes d'environ une demi-heure; après quoi, ils s'apaisent et les gens peuvent reprendre leurs activités normales. Durant la courte période des grains, souvent la vitesse du vent est telle qu'elle arrache les toitures légères.

En second lieu, la plupart des vents locaux s'accompagnent de pluie ou de grêle et souvent d'éclairs, quoique quelques tempêtes, comme celles qui se produisent au cours de la saison de l'*harmattan* au Nigéria, soient en vérité seulement des vents très forts. Quand, en plus, il pleut, il y a un risque réel d'inondations localisées.

Localisation géographique des catastrophes naturelles

On trouvera au tableau 3 une liste des États membres de l'Unesco, indiquant au regard de chacun d'entre eux s'ils sont situés dans une zone à haut risque, de quel type de phénomène catastrophique ils sont menacés et quel est le degré de vulnérabilité de leurs écoles.

Six risques sont envisagés: les séismes, les tsunamis, les éruptions volcaniques, les cyclones violents, les vents locaux et les inondations. Ces risques sont présentés dans l'ordre décroissant des quantités d'informations disponibles, les risques étant de plus en plus difficiles à chiffrer à mesure qu'on passe d'une catégorie à l'autre. S'il est relativement facile, à partir des connaissances que l'on a de la structure de la terre, de déterminer les zones à risque sismique, on ne peut guère avoir qu'une idée très générale des zones menacées par les cyclones, ces derniers étant relativement imprévisibles. De même, les vents locaux et les inondations intéressent souvent une étendue si réduite qu'il n'est probablement pas possible de rendre compte de chacune de leurs apparitions sans avoir recours aux cartes des pays touchés — ce qui est impossible dans le cadre de cette étude.

Le tableau comporte une colonne «Vulnérabilité» (Vu); il s'agit de la vulnérabilité des écoles, laquelle correspond au produit du risque de catastrophe naturelle par la probabilité des dégâts qui pourraient être occasionnés à ce type de construction:

Vulnérabilité

$$= \text{risque de catastrophe naturelle} \times \text{probabilités en matière de dégâts}$$

Par exemple, en Afghanistan où le risque de séisme est élevé et où de nombreuses écoles sont construites en briques crues, couvertes de lourdes toitures de terre, la probabilité de voir des dégâts se produire est importante et, par conséquent, la vulnérabilité est extrêmement grande. A l'inverse, au Japon, où le risque sismique est élevé, mais où la réglementation parasismique en matière de construction scolaire est vigoureusement appliquée s'il y a une certaine vulnérabilité, celle-ci est bien moindre.

Évaluer la vulnérabilité des écoles dans toutes les régions que les catastrophes naturelles frappent s'impose, bien évidemment; l'estimation de cette vulnérabilité donnée tient compte du type de construction des bâtiments courants ainsi que d'une certaine connaissance du comportement des bâtiments sous des efforts importants.

Ce tableau est d'une importance considérable pour nous puisque l'objet de la présente étude, qui a un caractère préparatoire, est de déterminer dans quelle mesure les écoles sont menacées par ces catastrophes naturelles, et de formuler des propositions concernant l'établissement de manuels de conception et de construction et l'organisation de stages de formation en vue d'aider les États membres de l'Unesco.

Au vu de ce tableau, il apparaît que la majorité des pays sont menacés d'au moins un type de catastrophe naturelle alors que quelques-uns sont soumis à des risques de plusieurs sortes. C'est pourquoi, à notre avis, les écoles de cinquante-sept de ces pays présentent des signes de vulnérabilité.

Voici, brièvement résumé à partir du tableau 3 le nombre de pays menacés par catégorie de risque:

Cause	Nombre de pays	Pourcentage
Séisme	73	47,7
Tsunami	18	11,8
Éruption volcanique	27	17,6
Cyclone	28	18,3
Fort vent local	7	4,6
Inondation	21	13,7

Il y a quarante-cinq (29,4 %) pays menacés par plus d'un type de catastrophe.

Bien entendu, les catastrophes naturelles ci-dessus mentionnées ne sont pas directement comparables. Le risque d'éruption volcanique en particulier est à mettre à part. Un volcan actif doit être signalé sous le nom du pays où il est situé. Mais, dans la plupart des pays, peu de gens vivent près des volcans et le nombre de morts consécutif à une éruption volcanique est, comme cela a été montré

Les effets des catastrophes naturelles sur les constructions scolaires

Tableau 3. Risque de catastrophe naturelle et vulnérabilité des bâtiments scolaires dans les États membres de l'Unesco^a

État membre	Type de risque ^b						Remarques	État membre	Type de risque ^b						Remarques		
	S	T	V	C	Vt	I			Vu ^c	S	T	V	C	Vt		I	Vu ^c
Afghanistan	*								Hongrie	*							
Albanie	*								Inde	*		*			*	*	S au nord C à l'est
Algérie	*								Indonésie	*	*				*	*	
Allemagne, République fédérale d'	*								Irak	*					*		
Angola									Iran								
Arabie saoudite									(Rép. islamique d')	*					*	*	
Argentine	*	*						S dans les Andes	Irlande								
Australie		*	*		*				Islande	*	*						
Autriche	*								Israël	*							
Bahrein									Italie	*	*				*	*	
Bangladesh	*		*	*	*				Jamahiriya arabe libyenne (populaire et socialiste)								
Barbade	*				*	*			Jamaïque	*		*			*		
Belgique									Japon	*	*	*	*	*			
Bénin									Jordanie	*						*	
Birmanie	*		*			*			Kampuchea démocratique								
Bolivie		*							Kenya		*						
Botswana									Koweït								
Brésil						*	*		Lesotho								
Bulgarie	*								Liban	*							
Burundi									Libéria								
Canada	*	*	*					S à l'est	Luxembourg						*	*	*
Cap-Vert									Madagascar		*	*					
Chili	*	*	*	*	*	*			Malaisie								
Chine	*	*	*	*	*	*		S à l'est	Malawi								
Chypre	*								Maldives (Les)								
Colombie	*	*	*			*			Mali								
Comores (Les)				*		*			Malte	*							
Congo		*				*			Maroc	*						*	
Costa Rica	*	*	*	*	*	*			Maurice			*			*		
Côte-d'Ivoire			*	*		*		C à l'est	Mauritanie								
Cuba			*	*		*			Mexique	*	*	*	*	*	*	*	
Danemark									Monaco	*							
Égypte									Mongolie								
El Salvador	*	*				*			Mozambique								
Émirats arabes unis									Namibie								
Équateur	*	*	*			*			Népal	*						*	
Espagne	*					*			Nicaragua	*	*	*	*		*		
États-Unis d'Amérique	*	*	*		*	*			Niger								
Éthiopie	*					*			Nigéria					*			
Finlande									Norvège								
France	*								Nouvelle-Zélande	*	*	*					
Gabon									Oman								
Gambie									Ouganda	*						*	
Ghana									Pakistan	*					*	*	
Grèce	*	*				*			Panama	*	*				*		
Grenade	*		*			*			Papouasie - Nouvelle-Guinée	*	*	*			*		
Guatemala	*	*	*	*		*			Paraguay							*	
Guinée									Pays-Bas								
Guinée-Bissau									Pérou	*	*	*			*		
Guinée équatoriale									Philippines	*	*	*	*		*	*	
Guyane									Pologne								
Haiti	*		*		*	*			Portugal	*					*		
Haute-Volta			*			*											
Honduras	*		*			*											

État membre	Type de risque ^b						Remarques
	S	T	V	C	Vt	I	
Qatar							
République arabe syrienne	*						*
République centrafricaine							
République de Corée							
République démocratique allemande	*						
République démocratique populaire lao							
République dominicaine	*		*		*	*	
Republique populaire démocratique de Corée							
République socialiste du Vie Nam			*		*	*	
République socialiste soviétique de Biélorussie							
République socialiste soviétique d'Ukraine							
République-Unie de Tanzanie	*						*
République-Unie du Cameroun			*				
Roumanie	*						*
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord							
Rwanda							
Sainte-Lucie	*		*				*
Saint-Marin	*						
São Tomé-et-Principe							
Sénégal							
Seychelles							
Sierra-Leone							
Singapour							
Somalie	*						*
Soudan	*					*	*
Sri Lanka			*				*
Suède							
Suisse	*						
Suriname							
Swaziland							
Tchad							
Tchécoslovaquie	*						
Thaïlande			*		*		
Togo							
Tonga							
Trinité-et-Tobago			*				
Tunisie	*						*
Turquie	*					*	*

État membre	Type de risque ^b						Remarques
	S	T	V	C	Vt	I	
Union des républiques socialistes soviétiques	*	*	*	*			S au sud V à l'est et à l'ouest
Uruguay							
Venezuela		*					*
Yémen		*					*
Yémen démocratique		*					*
Yougoslavie		*					*
Zaire							
Zambie		*					*
Zimbabwe							

a. A l'exclusion des neuf nouveaux Etats membres que l'Unesco comptait en 1983 : Dominique, Samoa, Bahamas, Bhoutan, Belize, Antigua-et-Barbuda, Saint-Vincent-et-Grenadines, Fidji, Saint-Christophe-et-Nevis.

b. S = Risque sismique
T = Risque de tsunami
V = Risque volcanique
C = Risque de violents cyclones
Vt = Risque de forts vents locaux
I = Risque d'inondation

c. Vu = Vulnérable

dans le tableau 1, très faible comparativement au nombre de morts dû aux séismes ou aux cyclones; les points les plus significatifs dans la liste ci-dessus sont donc ceux des pays soumis aux risques de séisme et de cyclone tropical.

Sur soixante-treize pays soumis au risque sismique, les écoles d'environ cinquante d'entre eux présentent, selon nous, une certaine vulnérabilité et les écoles de vingt-quatre pays courent le risque d'être endommagées par des cyclones. Même si l'on tient compte d'une marge d'erreur de 5 à 10%, le nombre de pays où les constructions scolaires sont vulnérables reste important.

Il paraît utile de clore ce chapitre en résumant brièvement par des schémas les effets des deux plus sérieuses formes de catastrophes naturelles sur les bâtiments scolaires de petites dimensions.

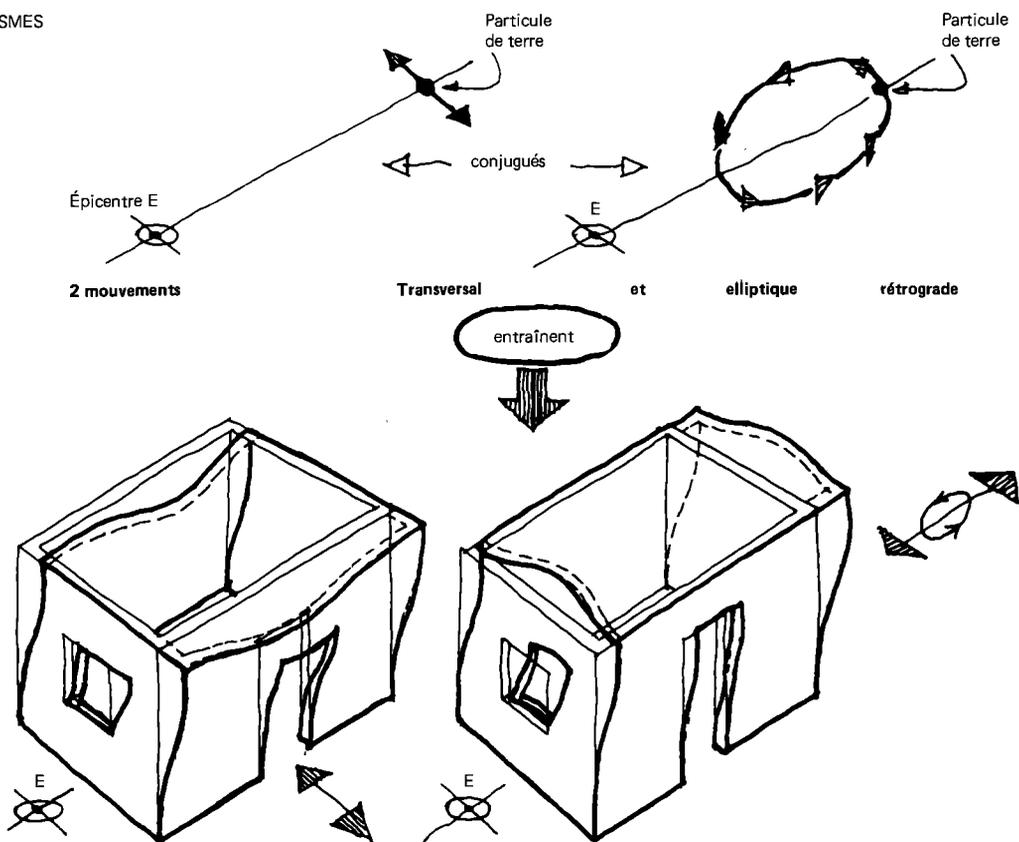
Résumé des effets des séismes sur les écoles de petites dimensions

La figure 12 illustre, en trois étapes, l'enchaînement des causes et des effets en montrant d'une manière simplifiée :

1. Comment le phénomène agit sur les bâtiments;
2. Comment une construction de petites dimensions se déforme sous l'effet des efforts qui la sollicitent;
3. Comment le bâtiment se rompt quand les poussées sont trop fortes.

Les effets des catastrophes naturelles sur les constructions scolaires

SÉISMES



des déformations du bâtiment sous l'effet **conjugué** des deux mouvements et

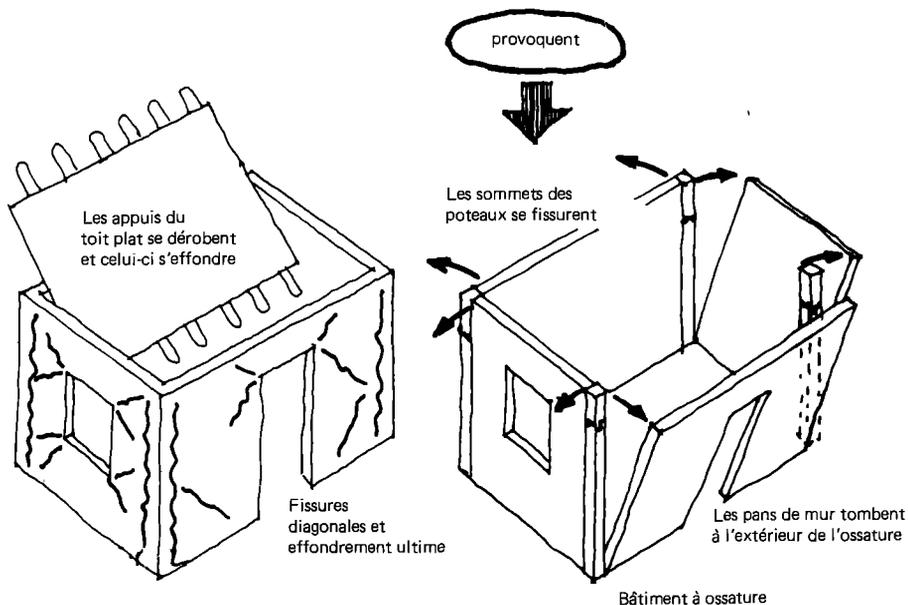


FIG. 12. Effets d'un séisme sur un bâtiment de petites dimensions.

VIOLENTS CYCLONES TROPICAUX

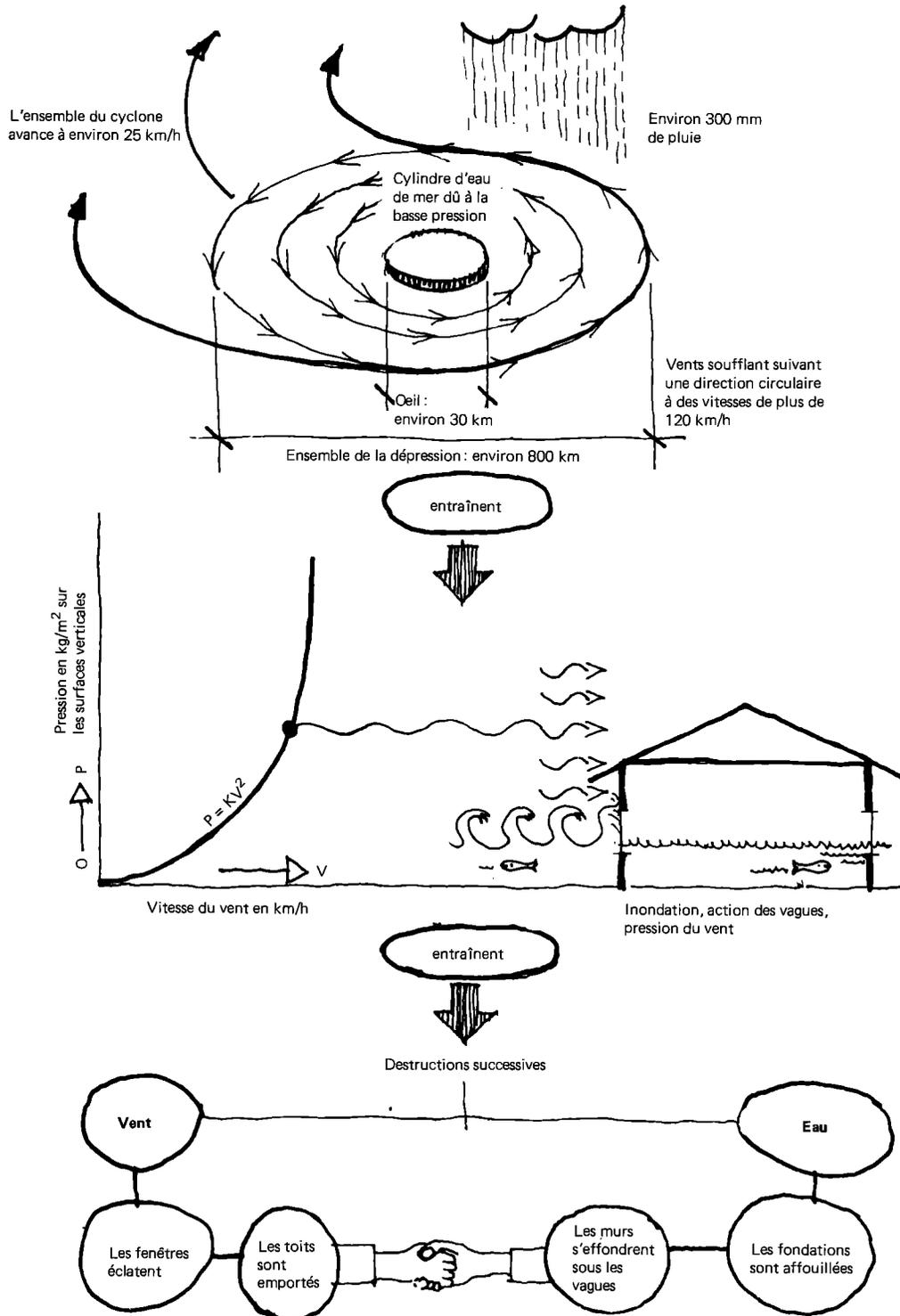


FIG. 13. Effets d'un violent cyclone sur une école à un seul niveau.

Sur la figure 12, de nombreux éléments ont été omis : par exemple, les effets des séismes sur les écoles de plus d'un niveau, leurs effets sur les écoles construites selon un plan en U ou en L, et ceux dus à la nature des matériaux de construction employés. Ces thèmes et d'autres pourraient, peut-être, être abordés dans les manuels dont il est question dans la troisième partie de cette étude.

Le déroulement d'un cyclone

Un cyclone peut provoquer un désastre en raison de la force du vent ou du fait de l'action conjuguée du vent et de l'eau, celle-ci pouvant, dans le meilleur des cas, se contenter d'inonder les écoles et, dans le pire, les faire s'effondrer.

1. Une vue en coupe de l'ensemble d'un cyclone se déplaçant, plus ou moins paraboliquement, à 25 km à l'heure environ, en tournant au nord dans le sens des aiguilles d'une montre. Un cyclone dans l'hémisphère Sud se comporterait à l'inverse à tous points de vue. La pluie et le cylindre d'eau de mer de 30 km qui font partie du cyclone sont également indiqués sur le graphique.
2. Le vent, qui est toujours présent, engendre une pression proportionnelle au carré de sa vitesse, la constante K venant modifier la pression le cas échéant : il se produit souvent une inondation et, si se forme parfois, sous l'action du vent, des vagues qui viennent battre les écoles et les autres constructions.
3. Les actions successives du vent et de l'eau (quand les deux phénomènes se produisent ensemble), peuvent conduire à la destruction totale des bâtiments.

Conclusions

A l'issue de ce chapitre, se posent un certain nombre de questions qui seront examinées dans les deuxième et troisième parties de cette étude.

D'abord, il est évident que les catastrophes naturelles continuent à se produire et cela apparemment avec une fréquence plus ou moins constante. Ainsi, l'*Annual summary* des catastrophes naturelles, publié par l'Unesco pour la période allant de 1966 à 1975 a recensé entre 500 et 600 séismes chaque année. Tout porte à croire qu'il y aura toujours autant de tsunamis, de même que de violents cyclones tropicaux.

Il est cependant quelque peu surprenant que ces phénomènes naturels continuent à entraîner annuellement des pertes en vies humaines et des dégâts matériels pour ainsi dire constants. Des mesures sont-elles prises aux niveaux

national, local et individuel pour parer aux effets possibles de ces forces naturelles? En particulier, quelles mesures prend-on, si l'on en prend, en ce qui concerne la conception et la construction des bâtiments scolaires? Si oui, ces mesures donnent-elles, dans l'ensemble, des résultats positifs? Qu'est-ce qui pousse un gouvernement à entreprendre un programme de construction d'écoles à un seul niveau dans une zone que l'on sait être périodiquement dévastée par les cyclones, le dernier d'entre eux ayant détruit quelque 4 000 écoles? Pourquoi construit-on dans les zones à risque sismique majeur des écoles de construction massive, en terre ou en maçonnerie, et qui ne sont même pas renforcées? Pourquoi la ville d'El Asnam en Algérie, dévastée alors que cette étude était en préparation, a-t-elle été construite sur le même site que la ville qui avait été complètement détruite par un séisme vingt-six ans à peine auparavant?

Ces questions ouvrent naturellement la voie à d'autres. Ceux qui ont besoin d'informations sur le risque de catastrophe naturelle peuvent-ils s'en procurer? Comment fixe-t-on les budgets, conçoit-on et construit-on dans les zones menacées? Quels sont les coûts de la construction de bâtiments scolaires prévus pour résister aux catastrophes naturelles? Existe-t-il une formation spécifique en matière de conception d'écoles de ce type? Existe-t-il une documentation qui pourrait aider les responsables de la conception et de la construction?

Bibliographie annotée

Ceux qui souhaitent acquérir une connaissance approfondie des aspects sismiques et météorologiques du problème se reporteront aux textes de base. En revanche, ceux qui ne recherchent que des informations générales sur la question trouveront dans les ouvrages ci-après les renseignements complémentaires dont ils ont besoin.

Pour avoir une vision très globale de l'étendue des catastrophes naturelles survenues au cours de la dernière décennie et avant, ainsi que pour se faire une certaine idée du type et de la diversité des statistiques disponibles au niveau international, on consultera avec profit:

1. UNESCO. *Annual summary of information on natural disasters*. Paris, Unesco, 1966-1975. (Voir « Bibliographie annotée », note 3, p. 21.) L'UNDRRO a publié une série de documents traitant des catastrophes naturelles, et qui viennent utilement compléter les renseignements fournis dans ce chapitre:
2. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Prévention et atténuation des catastrophes. Le point des connaissances actuelles*. Vol 3: *Aspects sismologiques*. New York, Nations Unies, 1977.
Ce document passe en revue les causes de séisme, décrit leur nature et les méthodes de mesure et de description des secousses telluriques. Certains chapitres traitent de la prévision, de la répartition et des conséquences économiques des séismes. Le calcul des structures est exposé dans ses grandes lignes et le document conclut par une courte note sur les tsunamis.
3. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Prévention et atténuation des catastrophes. Le point des connaissances actuelles*. Vol. 4: *Aspects météorologiques*. New York, Nations Unies, 1978.

Ce document passe en revue les principales causes de catastrophes d'origine météorologique; des chapitres sont consacrés à des descriptions et illustrations détaillées de ces phénomènes. Il ne contient pas d'analyse technique à la différence du volume 3 consacré aux séismes (les météorologues s'intéressent dans l'ensemble moins que les sismologues aux sciences de l'ingénieur).

Les deux documents de l'Organisation des Nations Unies sont accompagnés d'une bibliographie utile.

Études de cas

Généralités

L'objet de ce chapitre est de décrire les effets sur les bâtiments scolaires d'un certain nombre de catastrophes naturelles qui se sont produites dans le monde. Chaque cas est examiné de manière très brève, car il existe de nombreux ouvrages traitant des bâtiments en général. Aussi nous suffira-t-il, ici, de mettre l'accent sur ce qu'il est advenu des bâtiments scolaires. Quatre causes de catastrophes naturelles sont envisagées: les séismes, les cyclones tropicaux, les vents violents et les inondations. Les exemples ont été choisis au hasard parmi les milliers qui ont été étudiés; il s'agit de désastres qui se sont produits en Afrique, en Asie, en Amérique latine et en Europe.

Le tremblement de terre péruvien du 31 mai 1970

C'est de loin le séisme le plus destructeur qui ait été enregistré dans l'hémisphère occidental. D'intensité IX le long de la côte du Pérou, il a touché une zone de 85 000 km² dont la majeure partie était montagneuse. Les dégâts furent considérables: 186 000 maisons et un grand nombre d'écoles furent détruites, environ 54 000 personnes périrent et 150 000 furent blessées. Le séisme déclencha également une avalanche de glace, de rochers et de boue qui ensevelit deux villes, tuant 20 000 personnes [1].

Au Pérou, les bâtiments scolaires sont construits, selon l'endroit, de l'une des trois manières suivantes:

1. La construction en *quincha*, utilisée dans les régions les plus reculées, consiste à entrelacer autour de perches verticales des branches fines ou des joncs. Le toit est, lui aussi, léger et constitué par des matériaux de même nature. Souple et légère, la *quincha* a probablement mieux résisté au séisme que les architectures plus courantes et plus lourdes.
2. La construction en adobe est utilisée dans la plupart des zones rurales; c'est un type de construction qui

serait, n'étaient les séismes, durable et bien isolée thermiquement. L'adobe est constitué par de la terre séchée au soleil. Au Pérou, il est employé soit sous forme de brique, soit sous forme de boue coffrée entre des planches jusqu'à ce qu'elle soit sèche. Les murs en adobe sont toujours enduits de boue sur les deux faces. Les toits qu'on trouve habituellement sur les écoles construites avec des murs en adobe sont constitués de perches d'eucalyptus recouvertes de planches ou de roseaux et couvertes de lourdes tuiles en argile.

3. Les écoles urbaines ainsi que celles des zones rurales les plus accessibles sont construites à partir de poteaux en béton armé entre lesquels on met en place un mur de remplissage soit en brique soit en parpaing. Les toits sont généralement constitués de feuilles de tôle ondulée galvanisée placées sur des chevrons en bois, quoiqu'on trouve parfois des toits en béton armé dans les communes les plus riches.

Les effets du séisme sur ces trois types de construction ont été, comme on pouvait s'y attendre, assez différents. Les bâtiments en *quincha* ont été ébranlés mais n'ont pas été sérieusement endommagés, sauf lorsqu'ils se trouvaient sur le chemin de l'avalanche ou du glissement de terrain. Les écoles en adobe ont été plus sérieusement endommagées. Des tuiles ont glissé et sont tombées des toits, des murs se sont enflés vers l'extérieur, des fissures sont apparues autour des portes et des fenêtres, et les différents murs, ou bien les murs et le toit se sont souvent totalement disjoints. On a pu remarquer que les bâtiments récents en adobe avaient été un peu moins endommagés que les anciens. Les écoles construites sur ossature de poteaux en béton armé ont également souvent été sérieusement endommagées. Les remplissages se sont détachés des poteaux et sont tombés, tandis que les têtes des poteaux se sont fissurées et que le béton s'est détaché des fers. Le total des dégâts subis par le parc scolaire péruvien a été tel qu'une révision des principes de conception des bâtiments scolaires a dû être entreprise en priorité avant que les travaux de reconstruction soient engagés.

Le déroulement d'un séisme afghan

Le séisme péruvien est un cas de secousse tellurique très meurtrière et dévastatrice. Nombre de secousses telluriques enregistrées retiennent moins l'attention alors qu'elles occasionnent tout aussi bien des dégâts qui affaiblissent la résistance des bâtiments scolaires aux phénomènes ultérieurs. On en donnera pour exemple une période d'activité sismique de type courant survenue en Afghanistan.

En 1974, environ douze secousses telluriques d'intensité variant entre II et VI se sont produites dans l'est de l'Afghanistan. On n'a enregistré ni mort, ni blessé, ni dégât matériel; pourtant, beaucoup d'écoles à quatre classes des zones rurales portaient de nombreuses traces résultant des secousses sismiques.

Les écoles de l'est de l'Afghanistan sont, en règle générale, construites soit avec des briques ou des pierres liées par un mortier de pisé, soit, plus couramment, avec des briques séchées au soleil ou des blocs de pisé liés par un mortier de même matière. On utilise ce matériau pour monter des murs de plus d'un mètre d'épaisseur au-dessus de fondations construites avec des pierres liées par un mortier de pisé. Les toits sont constitués de perches de peupliers sur lesquelles on étend des planches ou des bottes de joncs. Par-dessus est étendue une couche d'environ 40 à 50 cm de pisé, fait d'une terre de qualité particulière, qui est soigneusement damé puis parfaitement lissé. Du fait de la rareté du bois, les fenêtres et les portes sont généralement petites et ne comportent souvent pas de chambranle. Cela est toutefois sans grande importance car les écoles sont fermées durant les longs mois d'hiver où règne un froid cinglant, tandis qu'au printemps et en automne les cours se font souvent dehors au soleil. On trouvera à la figure 14 une représentation des principes de construction d'une école traditionnelle. «Massive» est l'adjectif qui caractérise le mieux cette façon de construire.

Ces écoles furent fortement ébranlées lors des secousses telluriques de 1974. Quoique, dans la plupart des cas, les bâtiments soient restés structurellement intacts (les murs sont restés plus ou moins verticaux et les toits ne se sont généralement pas effondrés), ils ont cependant subi des dégâts mineurs considérables. Dans beaucoup d'écoles, des fissures sont apparues aux jonctions des murs et autour de la plupart des ouvertures des portes et des fenêtres. De larges plaques de l'enduit de pisé sont tombées, exposant les briques crues ou l'appareil de pierres et de pisé aux intempéries, et de la terre, sous forme de poussière ou en bloc, est fréquemment tombée des toits.

Ainsi, quoiqu'ils ne se soient pas effondrés, la plupart

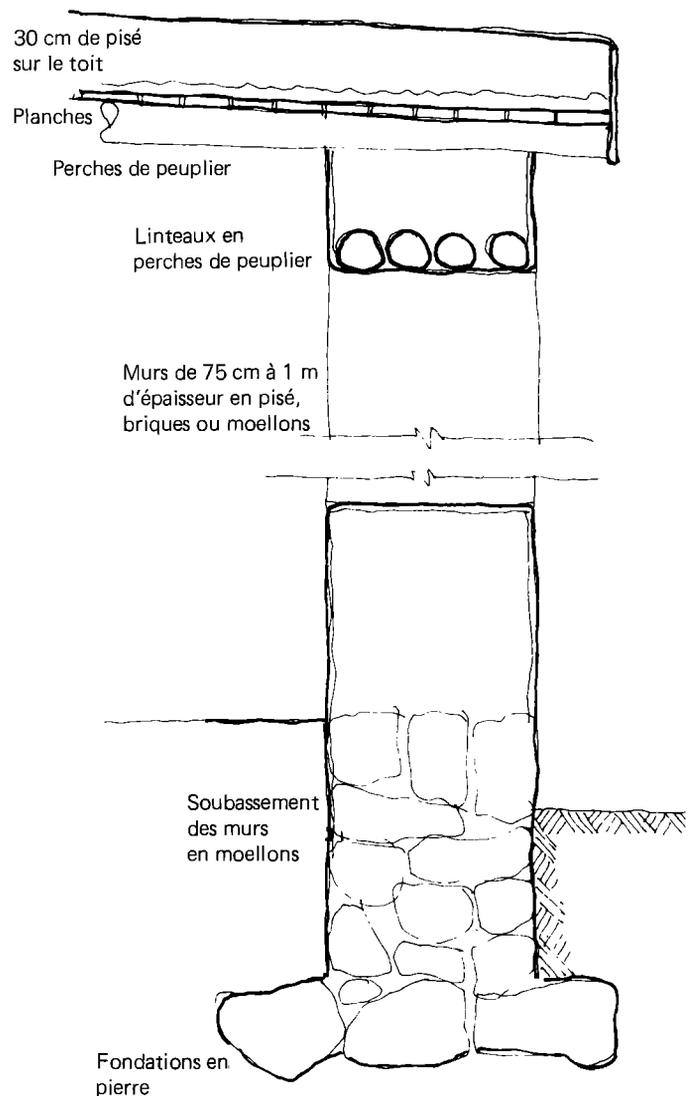


FIG. 14. Principes de construction d'une école rurale afghane traditionnelle.

des bâtiments se sont trouvés sérieusement affaiblis. Dans une région comme l'Afghanistan où de nombreux phénomènes sismiques se produisent tout au long de l'année, ce processus d'affaiblissement est pratiquement continu et il devient de plus en plus dangereux d'utiliser les bâtiments scolaires.

On rappellera que lors du tremblement de terre du Pérou que nous avons décrit brièvement plus haut, les bâtiments en adobe les plus anciens ont été plus endommagés que les bâtiments plus récents. Le déroulement des séismes afghans que nous venons de décrire, fournit une explication à ce phénomène — un affaiblissement pro-

gressif amené par les secousses de faible intensité. Le véritable problème en l'occurrence est l'improbabilité qu'on vérifie, répare et renforce les écoles des zones rurales les plus reculées en prévision des séismes de forte intensité à venir.

Le cyclone du Bangladesh des 12 et 13 novembre 1970

Le 11 novembre 1970 au matin, je prenais mon petit déjeuner dans un hôtel de Madras, et je vis, dans le journal *The Hindu*, la photographie prise par satellite d'un violent cyclone tropical se trouvant à plusieurs centaines de miles au sud-ouest de la côte du Bangladesh. Tout indiquait que le Bangladesh était sur le point d'essuyer une onde de tempête et de subir des destructions de bâtiments sous l'effet des vents forts et de l'eau. La seule question était de savoir où la dépression franchirait la côte [2].

A cette époque, une grande partie des côtes fortement découpées du Bangladesh étaient protégées par environ 3 000 miles de digues en terre, d'à peu près 4 ou 5 m de haut, 2 m de large au sommet et limitées, de part et d'autre, par un talus. De plus, un système d'alerte perfectionné avait été mis en place, grâce à une assistance d'origine suédoise. Tous les fonctionnaires locaux des zones côtières étaient équipés d'une petite radio pour capter les signaux annonciateurs de tempête; des fusées éclairantes et d'autres signaux visuels pouvaient être employés et un plan d'évacuation avait été dressé. Or, habitués aux violents cyclones, et, ce qui est pire, ayant vu des cyclones passer près de chez eux sans qu'ils frappent la région même, la plupart des gens, ce jour-là, 12 novembre, vaquèrent à leurs occupations comme si de rien n'était; beaucoup de pêcheurs notamment partirent en mer malgré les avertissements d'une mer démontée.

Ce jour-là, le cyclone, représenté sur la figure 15, atteignit la côte à l'est du pays, légèrement au nord du port de Chittagong, tout au fond du golfe du Bengale. C'était l'époque des grandes marées de printemps; trois grands fleuves — la Padma, le Gange et le Brahmapoutre — étaient en crue; les pires conditions possible étaient réunies.

Quand le cyclone frappa la côte, la pression atmosphérique était de 986 mb, ce qui élevait la mer de 27 cm au-dessus du niveau moyen. La hauteur estimée de la grande marée était de 3 m au-dessus du niveau moyen de la mer et le cyclone amena 250 mm de pluie en vingt-quatre heures. La terre était déjà inondée par les eaux des trois fleuves; ces crues annuelles normales sont bénéfi-

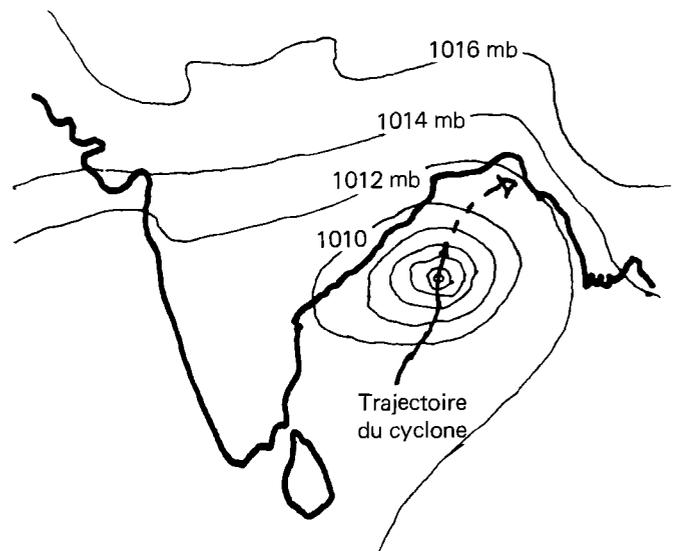


FIG. 15. Le cyclone du Bangladesh des 12 et 13 novembre 1970.

ques; elles déposent sur les rivières un riche limon, ce qui incite les fermiers à continuer à vivre dans cette zone en dépit des risques encourus. Ainsi, l'élévation du niveau de la mer était de l'ordre de 5 à 6 m et la digue en terre existante n'était pas assez haute pour s'opposer au passage des eaux amenées par le cyclone. La lame d'eau, entraînée à environ 25 km à l'heure par le cyclone qui se déplaçait vers le nord-est, balaya complètement le mur en beaucoup d'endroits. De nombreuses îles habitées du delta se trouvèrent sous 5 m d'eau et le continent fut inondé sur une profondeur de plusieurs kilomètres. Là où le mur était resté intact, il empêcha le retrait des eaux et, sous l'effet de vents extrêmement violents, de grandes vagues se formèrent sur ce qui était devenu une mer intérieure. Environ 10 000 km² furent touchés, 90% du bétail fut noyé et les biens, les maisons et les récoltes furent pour ainsi dire totalement détruits. Plus de 4 000 établissements scolaires furent endommagés, irrémédiablement pour la plupart.

A cette époque, les bâtiments scolaires au Bangladesh, constitués de cinq classes en ligne, étaient des édifices en brique, construits sur une trame de piliers écartés d'environ 3 mètres d'axe en axe et couverts d'un toit de béton armé ou de tôle ondulée galvanisée. Les sols étaient également en briques, recouvertes d'une fine couche de ciment. Les effets du cyclone sur ces bâtiments furent spectaculaires. La force du vent fit voler en éclats les fenêtres, les volets en bois et même les huisseries des fenêtres; la pression de l'eau, affouillant l'appareil de brique de piètre qualité, l'affaiblit et les vagues qui suivirent ainsi que les vents violents entraînent des effondrements partiels; les toits en béton, dont les fers

avaient souvent été corrodés au fil des ans par l'air chaud marin, s'effondrèrent progressivement tandis que les toits de tôle étaient emportés; on retrouva plus tard dans une mer de boue, totalement gâtés par l'eau, le mobilier, les livres et toutes sortes d'autres matériels scolaires.

Dégâts dus aux vents violents locaux

Presque exactement dix ans avant le cyclone du Bangladesh, j'observais d'une fenêtre du troisième étage d'un bâtiment universitaire, dans le nord du Nigéria, le développement d'un violent grain en ligne. A environ cent mètres de là, en contrebas, se trouvait un bâtiment administratif à un seul niveau d'environ 70 m de long et 8 m de large. Son toit à faible pente était recouvert de tôles d'aluminium.

La tempête se leva soudainement. En quelques minutes, une ligne de poussière jaune venant du nord balaya le campus et le toit du bâtiment en contrebas s'envola comme une feuille de papier à cigarettes. En une ou deux minutes, tout était parti. Les tôles de la toiture volaient dans les airs, quelques-unes s'enroulèrent autour de poteaux télégraphiques proches, les autres furent emportées au loin dans la brousse. Une demi-heure plus tard, le calme était revenu, mes élèves étaient de nouveau au travail et le personnel administratif avait commencé à rechercher les tôles de toiture, dont beaucoup furent redressées et utilisées pour réparer le toit endommagé.

La République dominicaine et l'ouragan David

Le 31 août 1979, l'ouragan David balaya la République dominicaine dans sa course vers l'ouest [3]. Au moins 1 100 personnes furent tuées, 3 000 furent blessées et environ 250 000 personnes totalement sinistrées. On enregistra des vents de 240 km à l'heure et une moyenne de 300 mm de pluie tomba sur le pays au cours de la journée.

Pour ce qui est des écoles, 330 furent totalement détruites, 250 furent sérieusement endommagées et 1 200 autres moins gravement touchées. L'ouragan frappa de la même manière d'autres îles des Caraïbes qui se trouvaient sur son chemin: Dominique, Porto Rico, Barbade, Saint-Vincent, Sainte-Lucie, la Martinique et les Bahamas. Après avoir ravagé la côte des États-Unis d'Amérique, il finit par mourir, onze jours plus tard, au-dessus de l'est du Canada.

Le rapport de la mission envoyée par l'Unesco en République dominicaine, sur les importants dégâts occa-

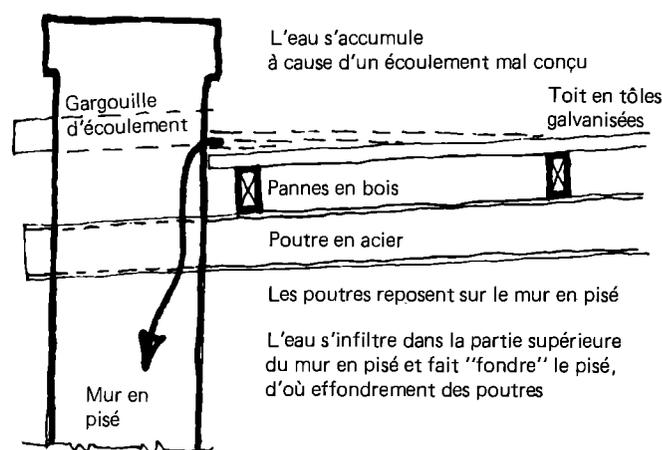


FIG. 16. El Gezira: comment les toits se sont effondrés.

sionnés aux écoles par les sans-abri qui s'y réfugièrent apporte des informations particulièrement intéressantes sur la période qui suit immédiatement un cyclone. Le montant des dégâts occasionnés par les réfugiés, notamment les bris du mobilier pour faire la cuisine a été estimé à environ 20% du coût final des réparations.

Les inondations de juillet 1978 au Soudan

Dans huit des dix-huit provinces du Soudan, juillet 1978 a été un mois de pluies exceptionnellement torrentielles. Une de ces provinces, El Gezira, a été gravement sinistrée et, comme elle compte une population dense, le gouvernement a demandé à l'Unesco de procéder à une évaluation de la situation et de formuler des recommandations en vue de la remise en état du réseau scolaire [4].

La catastrophe n'avait causé que des dégâts matériels, personne, pour autant qu'on le sache, n'ayant été tué ni blessé par les flots. Ceux-ci avaient cependant endommagé 930 écoles, en détruisant complètement 135, dont 102 dans la province de Gezira. Les dégâts s'étaient produits de manière moins spectaculaire que si la cause en avait été un cyclone tropical. En raison de la piètre qualité de construction des toits (voir fig. 16), les eaux se sont infiltrées dans les sommets des murs si bien que, dans de nombreux cas, les bâtiments se sont effondrés à partir du sommet plutôt que par les fondations. Les parpaings de terre supportant les poutres du toit «fondaient» lentement au fur et à mesure que la pluie pénétrait. Les fondations subirent aussi, bien sûr, des dommages importants. Bien que les eaux n'aient monté que de 60 à 70 cm environ, cela a suffi pour entraîner la désintégration de la base des murs en pisé; presque toujours dans ce cas, le bâtiment s'est ensuite totalement effondré.

Le tremblement de terre du 6 mai 1976 de Gemona di Friuli, Italie

A la différence des inondations du Soudan, le séisme de magnitude 6,5, qui s'est produit à Gemona di Friuli au nord-ouest de l'Italie en 1976, a fait 965 morts, 2 286 blessés et provoqué la destruction totale de 41 écoles. De plus, 45 écoles ont été sérieusement endommagées et 33 l'ont été légèrement [5]. Il est heureux que le séisme se soit produit à 21 heures, à une heure où les écoles sont vides. Lors du séisme, l'effectif scolaire total était d'environ 70 000 enfants. S'ils avaient tous été en classe à ce moment, vu le nombre d'écoles qui se sont effondrées, 20 000 élèves environ auraient pu être atteints. En l'occurrence, le séisme a fait 70 morts parmi les enfants d'âge scolaire.

Dans la zone des secousses telluriques, les écoles étaient approximativement de deux sortes. Celles qui avaient été construites au début du siècle comprenaient deux niveaux et avaient de lourds murs en maçonnerie, des planchers en bois portant sur des poutres en bois et des charpentes en bois couvertes de tuiles. Les constructions de ce type ont été presque totalement détruites — même aux endroits éloignés de l'épicentre du séisme. Les écoles plus modernes, construites au cours des quarante dernières années, étaient édifiées selon des principes semblables à ceux employés pour les bâtiments plus anciens, sauf que les planchers, et parfois les toits, étaient en béton armé. Ces écoles plus récentes ont subi des dégâts soit irrémédiables, soit exigeant des réparations extrêmement coûteuses.

Par une bizarrerie de l'histoire, la région de Gemona di Friuli, en dépit de son passé sismique bien connu depuis plus de huit cents ans, n'était pas officiellement classée comme zone à risque sismique et les écoles n'étaient pas soumises à la réglementation parasismique. Mais, même si on s'était attaché à rendre parasismiques les écoles nouvellement édifiées, la région aurait encore compté un grand nombre d'écoles anciennes qui seraient restées dangereuses. L'expérience du séisme de Gemona di Friuli est particulièrement intéressante car elle met l'accent sur la nécessité non seulement de tenir compte du facteur séisme lors de l'édification de bâtiments scolaires neufs, mais aussi, comme on l'a dit plus haut à propos de l'Afghanistan, d'étudier la sécurité des écoles existantes et d'accroître, si besoin est, leur capacité de résistance. Le séisme a aussi montré qu'en Italie, pays renommé pour certaines de ses architectures modernes, patrie d'ingénieurs mondialement célèbres, ces ingénieurs ne semblent pas avoir exercé leur art ailleurs que dans les villes, ce qui fait que les zones rurales ou plus reculées conservent leurs

écoles de caractère traditionnel, dangereuses en cas de séisme.

Problèmes soulevés par les études de cas

Ces exemples ne sont qu'un choix parmi les catastrophes naturelles sur lesquelles on dispose de rapports complets. Ils sont suffisamment caractéristiques pour faire apparaître un certain nombre de problèmes très généraux.

Une première évidence s'impose: l'existence du syndrome dit de marginalisation. Le Pérou, Gemona di Friuli, le Bangladesh, l'Afghanistan et les îles Caraïbes sont des endroits qui, en dépit des risques de mort très réels que court la population, resteront vraisemblablement toujours habités. Les principales raisons pour cela sont que les gens ne peuvent aller nulle part ailleurs, et que, dans quelques-uns des cas cités, notamment pour le Bangladesh, la terre est si riche qu'elle attirera toujours des agriculteurs prêts à prendre le risque d'une catastrophe naturelle.

La conclusion qu'il faut en tirer est claire: construire, dans toutes ces régions, des bâtiments scolaires conçus pour résister aux catastrophes naturelles est absolument capital — on ne le dira jamais assez. Dans aucun des cas cités, les écoles n'étaient conçues pour résister aux catastrophes naturelles comme on aurait pu s'y attendre dans de tels pays. Heureusement, au Pérou, on a vite remédié à cela et, après mai 1970, on a très rapidement mis en route un programme de constructions scolaires parasismiques.

Le second point qui ressort des études de cas est la nécessité de vérifier et de renforcer les bâtiments scolaires dans toutes les régions menacées par les catastrophes naturelles. Trop souvent, on s'attache exclusivement à améliorer la conception des bâtiments neufs alors qu'on laisse le parc ancien se détériorer. La plupart des architectes et des hommes politiques — disons-le sans malveillance — préfèrent de beaucoup concevoir ou inaugurer, selon le cas, une école neuve que réparer un bâtiment plus ancien. Dans la plupart des pays, le stock de bâtiments anciens est de loin plus important que celui des neufs, et partant, les risques sont plus graves en cas de séisme ou de cyclone.

Le troisième point important mis en évidence par les études de cas a trait à l'utilisation des bâtiments scolaires comme lieux de refuge après une catastrophe. L'expérience de la République dominicaine montre bien la nécessité de concevoir les écoles comme abris éventuels pour les populations. De fait, au Bangladesh, lors d'un cyclone antérieur à celui de 1970, les populations de villages proches de Chittagong se réfugièrent dans des centres communautaires qui avaient effectivement été

construits dans cette perspective. Lors du cyclone d'Andhra, les populations s'abritèrent dans des bâtiments jugés sûrs, qui s'effondrèrent par la suite. Il convient donc de songer aux indispensables abris et à l'adaptation des écoles à cette fonction.

Bibliographie annotée

Il est d'usage, depuis de nombreuses années, que l'Unesco réponde aux demandes des gouvernements de pays ayant subi des catastrophes naturelles en envoyant une mission consultative dès que possible après que l'événement s'est produit. Les rapports de ces missions sont de remarquables sources d'informations pour ceux qui désirent avoir un aperçu des divers problèmes qui se posent à la suite d'une catastrophe naturelle. La plupart des rapports de missions de l'Unesco mettent tout naturellement l'accent sur les dommages causés au patrimoine culturel du pays touché, ainsi qu'à son système d'éducation. Ces rapports comprennent également, pour la plupart, une importante composante scientifique destinée à améliorer les connaissances sur les causes du désastre.

1. CANGIANO, M. *Perú: Construcciones escolares*. Paris, Unesco, 1972. (Doc RMO-RD/EP).

Ce rapport, portant sur la période de six mois consécutive au séisme du 31 mai 1970, dresse un excellent tableau des effets du séisme sur les écoles péruviennes. Par la suite, l'auteur a pu rester au Pérou pour aider le gouvernement à concevoir un nouveau type de construction scolaire parasismique; c'est de celui-ci qu'il est question dans les documents suivants, publiés par l'Unesco et le gouvernement péruvien:

— *Perú: Construcciones escolares*. Paris, Unesco, 1973. (Doc. 2854/RMORD/EF5).

— *Arquitectura escolar, S.E.R.P. sistema de escuelas rurales del Perú*. Lima, Ministerio de Educación, 1972.

Il s'agit d'un exemple d'opération complète d'assistance technique, englobant l'étude initiale, l'aide à la conception et, enfin, la réalisation d'écoles parasismiques dans des sites ruraux.

2. ASIAN REGIONAL INSTITUTE FOR SCHOOL BUILDING RESEARCH. *East Pakistan's primary schools*. Colombo, the Institute, 1970. (Technical notes, n° 4).

L'ouvrage traite de la question des cyclones dans ce qui est maintenant le Bangladesh et propose quelques solutions au problème de la conception des bâtiments scolaires, y compris celui de la conception d'écoles propres à servir à la fois d'abris et d'établissements d'éducation.

3. UNESCO. *Dominican Republic: Report of an interdisciplinary mission to evaluate the damage caused by hurricane David and the tormenta Frederick and to suggest possible immediate and longer-term action to the Directorate of Education, Science and Culture*. Paris, Unesco, 1979.

La mission comprenait l'un des architectes les plus expérimentés de l'Unesco dont il faut lire l'analyse de la situation des bâtiments scolaires après la catastrophe.

4. BRISMAN, J. *Rehabilitation of school building network in the Gezira Province (of the Democratic Republic of the Sudan)*. Paris, Unesco, 1979.

Ce rapport bien argumenté ne laisse aucun doute au lecteur quant à la cause du désastre subi: uniquement la piètre qualité des constructions.

5. UNESCO. *The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976*. Paris, Unesco, 1976. (Voir «Bibliographie annotée», note 1, p. 21.)

Deuxième partie

Reconnaître le risque
et y faire face: un diagnostic

La reconnaissance du risque

Les difficultés de modélisation

Que des catastrophes naturelles continuent de se produire, provoquant souvent de très lourdes pertes humaines et économiques, montre clairement que dans plusieurs régions du monde, on n'a pas pris de mesure efficace pour y parer. Aucun des pays menacés que nous avons cités au chapitre précédent ne semble avoir appliqué les mesures nécessaires pour que les écoles résistent aux catastrophes naturelles. Beaucoup d'autres pays sont dans la même situation. On peut se demander pourquoi.

Les catastrophes naturelles semblent soulever deux problèmes. Le premier est celui de la reconnaissance du risque et de la décision d'agir: un problème lié au savoir et au comportement. Le second a trait aux modalités d'action: comment, dans le cas qui nous occupe, concevoir et construire des écoles aptes à résister aux phénomènes catastrophiques. Cette partie de l'étude est consacrée au premier problème et analyse quelques-unes des nombreuses manières dont les individus et les autorités reconnaissent le risque de catastrophe naturelle et agissent en fonction de la perception qu'ils en ont.

On doit dire qu'à cet égard, les diverses études publiées ne sont pas d'un grand secours. Dans leur article intitulé: «Mécanismes d'adaptation de l'homme aux risques sismiques» [1], Jackson et Burton lancent un premier avertissement lorsqu'ils écrivent: «Il convient également de noter que les observations qui suivent s'appliquent surtout au continent nord-américain, étant donné ses *valeurs socioculturelles dominantes et les moyens techniques dont il dispose*» (souligné par l'auteur).

Que les recherches publiées apportent peu de renseignements valables sur les attitudes et les actions dans tous les pays vulnérables est confirmé par Torry [2] qui se pose la question suivante: «...Sur quels systèmes de croyance se fonde un groupe pour comprendre les causes et la gravité d'un risque, pour se montrer réceptif à la mise en place de protections nouvelles et les intégrer, et pour déterminer les critères en fonction desquels il choisira entre des solutions institutionnelles antagonistes?»

Selon Torry, les études sur les effets du risque et les pertes à l'échelon régional ou supranational sont encore trop peu nombreuses pour que puissent être élaborés des modèles heuristiques. Bref, les sciences ont encore fort à faire pour nous donner les moyens de comprendre les attitudes et les actions (dont certaines sont décrites ici) de ceux qui ont à se préparer à faire face à une catastrophe naturelle.

Les remarques qui suivent ont trait aux attitudes que l'auteur a observées dans des régions touchées au cours des seize dernières années. Dans de nombreux cas, ces attitudes sont liées à des conditions sociales et culturelles particulières, ce qui porte à penser que la réalisation dans chaque pays menacé d'une étude des problèmes liés aux connaissances et aux attitudes s'impose, puisque chacun peut être à l'origine d'une situation particulière.

On retrouve les deux éléments — reconnaissance (du risque de catastrophe) et attitudes à son égard (telles que les actions les révèlent) — dans tous les exemples étudiés. Le degré de reconnaissance varie de la méconnaissance totale à la fois du risque et de la nature de la catastrophe potentielle à la parfaite connaissance des deux. Trois situations paraissent exister en ce domaine: *a*) méconnaissance; *b*) reconnaissance indirecte; *c*) reconnaissance directe. On en donnera des exemples dans les courts exposés qui suivent.

Méconnaissance du risque

Prenons un pays où le risque sismique est élevé. Le long de ses frontières méridionales s'étend une large bande de forêt sur plusieurs centaines de kilomètres. Pendant des siècles, cette région est restée pour ainsi dire inhabitée du fait du danger de paludisme; elle reste aujourd'hui de ces régions dont on nomme gouverneur un haut fonctionnaire en disgrâce — ce qui, autrefois, équivalait à un arrêt de mort.

Il y a environ vingt ans, de nombreux ressortissants du pays qui s'étaient établis comme marchands dans d'autres

pays proches, furent contraints de rentrer chez eux. Ne pouvant les reloger dans les villes et villages existants, le gouvernement décida de les installer dans la bande de forêt méridionale d'où le paludisme, disait-on à l'époque, avait disparu.

Quand les immigrants arrivèrent, se créèrent de nouveaux villages qu'il fallut équiper en écoles primaires. Construites en bois, ces nouvelles écoles devaient être renforcées pour pouvoir résister aux tremblements de terre. Une maquette du nouveau bâtiment fut montrée lors d'une réunion aux chefs de village qui devaient se charger de les faire édifier dans leur localité. Les chefs de village posèrent de nombreuses questions sur la conception de ces écoles et la seule réponse qu'ils ne comprirent pas fut celle qui expliquait la raison du contreventement diagonal destiné à accroître la résistance aux séismes. «Qu'est-ce qu'un séisme?» demandèrent-ils.

Ils venaient de zones où le risque sismique était nul et l'idée que la terre pouvait trembler, endommager des bâtiments et blesser des personnes leur était totalement étranger; aussi ces individus représentaient-ils un groupe de personnes, numériquement important, qui ne reconnaissait pas le risque d'une catastrophe naturelle d'ordre sismique.

Cet exemple est loin d'être atypique. Il en va de même de tout peuple migrateur qui quitte une zone sûre pour une zone menacée. L'important exode rural qui règne dans beaucoup de régions et les mouvements de réfugiés accroissent le nombre de gens qui ont ce genre d'attitude.

Ainsi, on peut dire, en résumé, qu'il y a des personnes vivant dans des zones exposées à des risques de catastrophes naturelles qui: a) ne savent pas ce qu'est une catastrophe naturelle; b) n'ont aucune expérience des effets d'un phénomène catastrophique sur les bâtiments; c) n'ont, dans leur manière traditionnelle de construire, rien qui concerne la lutte contre les catastrophes; et d) peuvent avoir la responsabilité de construire leurs propres écoles.

Quand les catastrophes naturelles sont rares, la reconnaissance du risque est moindre

Un État membre de l'Unesco a connu un séisme très dévastateur en 1897. Depuis cette époque, aucune secousse tellurique ne s'est produite mais les sismologues considèrent cette zone comme une zone exposée à un risque moyen. Ce même pays est tous les ans frappé par les cyclones tropicaux. Aussi la population est-elle accoutumée à ce dernier type de catastrophe naturelle, mais pas à l'autre.

Tandis que les grandes sociétés internationales, qui construisent des hôtels et d'autres grands édifices dans le pays, tiennent compte des deux types de risques, les architectes et les ingénieurs locaux responsables des constructions scolaires ne songent qu'aux violents cyclones tropicaux. Leur formation ne comporte aucun enseignement de la sismologie. Le risque sismique ne soulève pas le moindre intérêt car il est déjà bien assez difficile, avec des ressources limitées — tant humaines que financières — de se protéger des cyclones. Du reste, à l'égard de ceux-ci, les responsables de la conception des écoles éprouvent, comme on le verra plus loin, un certain sentiment d'invulnérabilité.

Voici un autre exemple, quelque peu différent, de cas où l'appréciation du risque est réduite, du fait de la rareté des catastrophes naturelles. Wolfenstein [3] l'a très justement qualifié de «coup dont on a le sentiment qu'il est passé très loin», ce qui revient à dire que le sentiment d'invulnérabilité a été préservé alors qu'on a couru un risque.

Les cyclones, avec leurs mouvements erratiques, donnent aux gens cette impression de coup passé loin ou près. C'est ce que montre bien, dans des pays dont nous parlions, le fait que les gens continuent à vivre dans les zones très menacées et, de surcroît, construisent des écoles qui sont très exposées à des dégâts par le vent et l'eau, et qui n'offrent aucun refuge quand le cyclone «balaie» la zone elle-même.

Le fait est que les violents cyclones tropicaux perdent très rapidement de leur puissance dès qu'ils ont franchi la côte. Ils frappent donc plus particulièrement les habitants de la côte qui ne représentent souvent qu'une faible proportion de la population. Ceux qui conçoivent les écoles depuis leur bureau de la capitale, à l'intérieur des terres n'ont peut-être personnellement jamais rien connu d'autre que les vents mourants du cyclone et peuvent n'apprendre que plus tard que, dans l'une des nombreuses régions où sont situées leurs écoles, plusieurs ont été endommagées. En 1980, par exemple, deux seulement des 34 000 écoles primaires du pays furent endommagées, alors que la saison des cyclones était passée depuis un mois.

C'est ainsi que persiste un sentiment d'invulnérabilité dans la plupart des zones menacées: les gens vaquent à leurs occupations quotidiennes avec l'espoir soit qu'ils n'essuieront pas de cyclone cette année, ou, s'il s'en produit un, qu'il ne franchira pas la côte située près de chez eux. A l'échelon gouvernemental, on se préoccupe peu de la question, soucieux qu'on est de décoller du taux de 60 % d'inscrits dans les écoles primaires et de construire les milliers d'écoles nécessaires pour faire face aux centaines de milliers d'enfants qui, espère-t-on, entreront

à l'école primaire. Nous reparlerons plus loin, de façon plus détaillée, du raisonnement que font peut-être les pouvoirs publics à ce sujet (voir p. 49).

Pour résumer, on peut dire que dans certaines régions exposées à un risque de catastrophe naturelle: *a)* les gens se sentent invulnérables, voire sont inconscients du risque, tant il est rare qu'il se concrétise; *b)* les professionnels de la conception et de la construction des bâtiments ne reçoivent aucune formation en matière de protection contre les catastrophes naturelles; *c)* les responsables des politiques en matière d'éducation ne considèrent pas comme un réel besoin d'édifier des écoles aptes à résister aux cataclysmes.

La reconnaissance du risque et le syndrome de marginalisation

Un certain nombre de pays se heurtent à un problème grave: le syndrome de marginalisation qui enferme beaucoup de communautés dans une union suicidaire avec leurs habitants. Ce terme, utilisé par les géographes pour définir des situations dans lesquelles les populations vivent sur des terres marginales dont la valeur baisse à mesure qu'ils les exploitent, peut aussi s'appliquer à des gens qui vivent sur des terres périodiquement frappées par des catastrophes naturelles. Par exemple, lorsque travaillant dans ces régions à risque, ils manquent soit de voir leurs efforts totalement anéantis, soit d'obtenir des rendements décroissants là où, par exemple, la terre est devenue saline sous l'effet d'une onde de tempête.

Prenons le cas d'une zone côtière d'un pays extrêmement surpeuplé et où, par conséquent, la pénurie de terres est grande. Plus de 80% de la population vit de l'agriculture. Dans la région côtière, une zone de delta est exceptionnellement fertile et porte au moins trois récoltes de riz par an. Le terrain dans cette zone est donc très recherché.

L'ensemble du littoral est, cependant, menacé par des cyclones tropicaux annuels, qui, au cours du siècle passé, ont entraîné la mort par noyade de plus d'un demi-million de personnes. Le bétail, les biens, et, bien sûr, les écoles ont été «balayés» maintes et maintes fois. Pourtant, les gens reviennent sur leurs terres et s'efforcent de gagner de quoi vivre. Les systèmes d'alerte et les murs de protection se sont tous révélés défectueux et il semble qu'il n'y ait aucun moyen d'assurer la sécurité de cette zone.

Ces dernières années pourtant, quelques écoles à plusieurs niveaux nouvellement construites ont prouvé qu'en cas de cyclone violent, le nombre de morts était moindre si les gens pouvaient se réfugier dans ces écoles et y demeurer jusqu'à ce que le cyclone soit passé. La construction de ces bâtiments coûte très cher, et en raison

du manque d'argent, il n'est pas question d'en construire davantage.

Le syndrome de marginalisation n'est pas un phénomène qui caractérise uniquement les zones sujettes à des inondations du fait de violents cyclones tropicaux. En Amérique latine, il y a de grandes portions des Andes où de pauvres gens continuent à vivre dans des endroits menacés par les séismes et les glissements de terrain qui suivent souvent les violents tremblements de terre. L'exemple type à ce propos est celui du tremblement de terre du Pérou au cours duquel 20 000 habitants des villes de Yungay et de Ranrahirca dans la vallée du Rio Santa, furent ensevelis sous une masse de glace, de rochers et de boue qui glissa des pentes escarpées surplombant ces agglomérations.

La ville d'El Asnam, en Algérie, a été reconstruite sur le même site après sa destruction par un séisme il y a une trentaine d'années. Si on l'a reconstruite à nouveau sur ce même site, ce sera là une manifestation caractéristique du syndrome de marginalisation, comme l'a été le retour de leurs habitants sur les riches terres du cône volcanique qui forme une île au milieu du lac Taal aux Philippines.

Ces brefs exposés font apparaître qu'il existe deux sortes de situations. Dans un cas, le nombre de personnes intéressées par ce phénomène est si grand et elles sont tellement habituées à vivre dans ces zones à risque qu'il ne faut absolument pas s'attendre à ce qu'elles s'installent ailleurs, dans un endroit plus sûr. Il convient donc de leur offrir une possibilité de trouver refuge en cas de cataclysmes; puisque les écoles sont assez bien réparties dans l'ensemble sur les territoires habités, tout milite en faveur de la construction d'écoles aptes à remplir cette autre fonction. Voilà l'idée que l'Unesco a défendue auprès d'un gouvernement tout au long de ces dix dernières années et il se pourrait bien qu'elle finisse par être acceptée. Le défi lancé aux concepteurs sera alors sans précédent. Ajoutons, à toutes fins utiles, qu'en Inde, on s'est déjà résolu à construire de telles écoles dans les zones exposées aux crues de rivières.

Dans l'autre cas, du fait de la nature du phénomène, une éruption volcanique par exemple, la catastrophe sera vraisemblablement telle qu'aucun bâtiment ne saurait en réchapper, aucune école en tout cas, aussi riche que soit le pays qui la construit. Il semblerait alors que la réponse consiste à reloger la population, problème social dont on ne peut débattre ici.

Il y a donc des personnes: *a)* qui ont conscience, parfois de manière très vague, parfois de manière intense au contraire, du fait qu'elles vivent sous la menace, mais qui, pour des raisons principalement économiques, mais aussi sans doute, en partie, sentimentales, acceptent le risque; *b)* qui ont des écoles qui ne résistent pas aux

catastrophes naturelles; et *c*) pour qui il devrait être possible de construire des écoles qui serviraient également de refuge en cas de catastrophe naturelle si l'on arrivait à persuader les gouvernements que de tels bâtiments sont techniquement et économiquement réalisables.

Reconnaissance indirecte du risque et constructions traditionnelles aptes à résister aux catastrophes naturelles

Quand une population a occupé une région pendant des siècles, les bâtiments ont été peu à peu adaptés à l'environnement. Ainsi, dans les régions chaudes et sèches, pour des raisons de confort thermique, les murs et les toits sont épais, les fenêtres petites et l'on utilise davantage le pisé et la pierre que le bois (les arbres poussent difficilement sous la chaleur sèche). De même, dans les régions chaudes et humides, les constructions sont légères, ouvertes aux brises rafraîchissantes et construites à l'aide des matériaux organiques qu'on trouve en abondance là où la chaleur et l'humidité favorisent la croissance.

Les observateurs à l'esprit pénétrant remarquent, cependant, qu'outre adapter l'architecture traditionnelle au climat et aux matériaux disponibles, les populations ont souvent aussi fait en sorte que leurs maisons puissent parallèlement résister aux effets des catastrophes naturelles auxquelles leurs régions pouvaient être exposées. Elles sont souvent bâties sur des buttes de terre ou des pilotis dans les endroits où elles risquent l'inondation, comme au Bangladesh; dans les zones à risque sismique, la tendance est très nettement à la construction de petits bâtiments rectangulaires avec de petites fenêtres et des ouvertures de portes placées loin des angles des murs. On utilise souvent comme ossature des poteaux et des poutres en bois avec des contrevents en diagonale, avec des panneaux de remplissage en brique ou en adobe. Tels sont, par exemple, beaucoup des bâtiments qui ont survécu au grand séisme qui a frappé le Népal vers la fin des années 30. De même, aux Caraïbes, un observateur a remarqué combien les constructions légères des quartiers les plus pauvres de tel village étaient bien adaptées aux dépressions cyclonales, le vent soufflant à travers les habitations sans les détruire totalement.

Daldy [5], spécialiste moderne réputé ayant écrit de nombreux ouvrages sur la conception de petits bâtiments aptes à résister aux séismes, a beaucoup appris sur les techniques employées en la matière lors d'une longue étude des stéréotypes dans diverses régions. Il est remar-

quable de voir combien l'architecture traditionnelle, dans quelques pays, correspond très exactement à ce qu'il recommande de faire.

Un pays a décidé de suivre, pour la construction d'écoles primaires rurales — traditionnellement, déjà, en partie parasismiques — les idées de Daldy, ce qui n'obligeait à apporter que des changements mineurs aux méthodes de construction. Des changements majeurs n'auraient du reste pas été acceptés par les ouvriers ruraux devant faire le travail. Quelques concepteurs considèrent, cependant, que la solution réside dans l'innovation, et, dans plusieurs pays, on a remplacé les constructions traditionnelles par des bâtiments faits de matériaux nouveaux, mis en œuvre à l'aide de méthodes modernes.

On dira donc qu'il y a des gens qui, vivant dans des zones menacées de catastrophes naturelles: *a*) ont conscience des risques encourus; *b*) construisent de manière traditionnelle des bâtiments qui résistent dans une certaine mesure aux cataclysmes; *c*) ignorent probablement les raisons qui sont à la base de ces traditions; et *d*) peuvent parfois avoir recours à des concepteurs pour les aider à améliorer leurs techniques ou leur suggérer de construire des écoles tout à fait nouvelles.

Le problème du terrain (quel que soit le degré de reconnaissance du risque)

La plupart des régions montagneuses du globe sont propices aux séismes. En montagne, les moyens de communication sont souvent très médiocres de sorte que les quelques bâtiments scolaires qui existent dans des zones ont bien souvent été édifiées par de petites communautés, du mieux qu'elles le pouvaient avec les ressources limitées dont elles disposaient. L'apport des pouvoirs publics, dans ce cas, est d'ordre pédagogique: envoi d'enseignants, fourniture de matériels d'enseignement, inspection.

Un des exemples donnés ci-dessus est particulièrement intéressant: il s'agit de celui où l'État a décidé d'aider les villages à construire leurs propres écoles. Il offrait aux villageois travaillant sur le site une petite somme d'argent, des plans reprenant dans l'ensemble des principes constructifs traditionnels et les matériaux nécessaires pour réaliser deux chaînages en béton armé destinés à renforcer le bâtiment en prévision des tremblements de terre.

Une demi-douzaine d'écoles prototypes ont ainsi pu être construites, plus quelques autres à proximité de la capitale, dans des endroits d'accès facile. Mais le problème du transport du ciment et de l'acier jusqu'au bout

de longues vallées, souvent dépourvues de chemins, en passant des cols d'altitude élevée, s'est révélé insoluble et les centaines d'écoles qui'il restait à construire l'ont été de manière traditionnelle et sans les chaînages de renforcement. Il convient d'ajouter que les fonctionnaires responsables du projet étaient à la fois compétents et dévoués et qu'ils avaient parfaitement compris le risque sismique, mais le terrain était tout simplement trop difficile.

Ce projet a cependant beaucoup apporté car, grâce à lui, des écoles ont été construites dans des endroits où il n'y en avait jamais eu auparavant. Les techniques traditionnelles ont même été améliorées car les inspecteurs, faute d'obtenir de quoi réaliser les chaînages en béton armé, ont eu l'idée de prolonger les linteaux des fenêtres jusqu'à ce qu'ils se rencontrent et qu'ils puissent être liaisonnés, constituant ainsi un chaînage de renforcement en bois autour des bâtiments.

Au Pérou [6], après le séisme catastrophique dont nous avons déjà parlé, on a amené à pied d'œuvre dans les montagnes de légères ossatures en acier qui ont été montées, puis revêtues de matériaux locaux.

Il y a donc des zones menacées: *a)* où les gens sont disposés à participer à la construction d'écoles dans leur village et à construire autrement si le risque que courent leurs enfants doit s'en trouver réduit; et *b)* à propos desquelles les pouvoirs publics sont soucieux d'améliorer les bâtiments afin que les écoles subissent moins de dommages en cas de catastrophe naturelle.

La reconnaissance du risque et les concepteurs

Dans de nombreux pays, il faut bien dire que la conception des écoles de dimensions assez importantes est assurée par un service central où travaillent des architectes et des ingénieurs compétents. Selon toute probabilité, elles seront conçues de manière à pouvoir résister aux catastrophes naturelles et l'on aura pleinement tenu compte de la réglementation en la matière. Il n'en ira pas toujours de même des zones rurales.

Ainsi, dans un pays qui comporte une zone à haut risque sismique, la tâche de concevoir le modèle des écoles primaires de la province avait été confiée à un dessinateur-projeteur très qualifié. Un bâtiment si peu important ne paraissait pas justifier l'intervention d'un des architectes accablés de travail du Service provincial des bâtiments. Au terme de recherches sérieuses dont il semblait très satisfait, le dessinateur-projeteur proposa les plans d'un bâtiment à un seul niveau, disposé en C autour d'une cour ouverte. Le bâtiment comportait de très gran-

des fenêtres et était recouvert d'un toit constitué de panneaux de béton préfabriqué qui devait reposer sur de petites solives portées par les murs en brique non renforcés.

Un tel bâtiment aurait, bien sûr, constitué un piège mortel pour ses occupants en cas de séisme, même modéré. Il était prévu de construire environ 400 écoles de ce type, chacune accueillant quelque 200 enfants. Ainsi, environ 80 000 enfants se seraient trouvés exposés au danger. C'est plus ou moins par hasard qu'on prit certaines des mesures voulues, mais pas toutes, pour remédier aux défauts du modèle conçu. Le projeteur s'étonna de s'entendre dire que le bâtiment qu'il avait conçu s'effondrerait à la moindre secousse et il prit connaissance avec intérêt d'un ouvrage de référence sur la conception parasismique, basé sur les travaux de Daldy, que la bibliothèque de son propre service détenait.

En revanche, un autre pays où n'existait aucune règle de construction parasismique a emprunté la réglementation de l'Union des républiques socialistes soviétiques et l'applique rigoureusement à la conception de tous les bâtiments, de toutes dimensions, édifiés en zone urbaine.

Le syndrome des bâtiments de petites dimensions atteint beaucoup de pays, et, comme la plupart des écoles sont à la fois petites et situées dans les zones rurales, ses conséquences sur la résistance de ces dernières aux catastrophes naturelles sont considérables.

La difficulté en matière de petits bâtiments, comme les écoles rurales ayant un petit nombre de classes, est qu'ils ne se prêtent pas aussi facilement à une analyse structurale qu'un bâtiment plus important comportant plusieurs niveaux. En conséquence, on ne considère généralement pas nécessaire à leur propos de faire intervenir un ingénieur civil qui n'a pas remarqué ces petites écoles primaires: dont les pannes du toit sont soutenues par la toiture au lieu de l'inverse; dont les fermes de facture artisanale ne sont pas triangulées et dont le toit tient pourtant; où l'acier supportant les plaques du toit est resté nu et se dessine en trace de rouille sur le plafond des classes. Dans ces conditions, estimer la résistance de ces petits bâtiments en cas de catastrophes naturelles est assurément fort malaisé.

En résumé: *a)* la conception des établissements scolaires de grandes dimensions est le plus souvent assurée par un personnel compétent, et lorsqu'il existe dans le pays une réglementation sur la prévention des catastrophes naturelles et la documentation voulue pour pouvoir s'y conformer, il en est généralement tenu compte; *b)* la conception des écoles rurales fait souvent l'objet de moins de soin que celle des établissements scolaires urbains plus importants; et *c)* ceux qui conçoivent des écoles rurales n'ont parfois pas reçu la formation

nécessaire et n'ont pas accès aux guides ou manuels de conception qui les aideraient à tenir compte, dans leur tâche, du critère de prévention en cas de catastrophe naturelle.

Mise en place d'une réglementation et d'un contrôle lorsque le risque est reconnu

Un État résolu à protéger ses établissements scolaires contre les catastrophes doit, tout d'abord, formuler des règlements de construction en la matière, puis veiller à leur application.

Il existe, dans la plupart des États membres de l'Unesco, au moins à l'état embryonnaire, des règlements relatifs à la conception et à la construction des bâtiments. Dans certains États membres, les bâtiments publics ne sont pas tenus de suivre la réglementation établie par les autorités, mais il est rare que l'on se serve de ce prétexte pour construire des bâtiments ne répondant pas aux normes de construction en vigueur. La qualité et l'ancienneté de la réglementation varient considérablement. Dans un certain pays, par exemple, la totalité du règlement tenait sur quatre ou cinq feuillets de format in-quarto et restait pour ainsi dire lettre morte, sauf dans la capitale où il était parfois respecté. Dans un autre, les règlements dataient de la seconde moitié du XIX^e siècle et n'avaient guère été révisés depuis les années 20. La réglementation accumulée fait l'objet de plusieurs volumes et bon nombre de ses principes sont devenus caducs du fait de l'évolution de la technologie du bâtiment.

Dans quelques-uns des pays anciennement colonisés, il y eut tant à faire que le temps manqua pour que soit précédée à une révision sérieuse de la réglementation de la construction; la réglementation en vigueur repose donc sur des critères qui étaient jugés importants dans la première moitié de ce siècle. Toutefois, il arrive parfois que des modifications ou des dérogations permettent d'utiliser malgré tout des méthodes de conception et des matériaux modernes.

Ces dernières années, l'éducation a connu un formidable essor. Il a donc fallu construire un nombre important d'écoles neuves. Dans un pays à forte sismicité, il a été construit plus de 50 000 nouvelles écoles primaires au cours de la dernière décennie, et il est très courant de trouver des chiffres exprimés en milliers dans les statistiques de construction des ministères de l'éducation des États membres de l'Unesco. Les gouvernements n'ont donc pas manqué de se poser la question de l'organisation et du contrôle de la construction de toutes ces écoles.

Comme on l'a dit plus haut, il y a souvent un écart considérable dans la manière dont les programmes de constructions scolaires sont appliqués en milieu urbain et en milieu rural, les seconds étant très généralement négligés.

La responsabilité de la construction des écoles rurales peut être nationale ou locale. Dans le deuxième cas, les normes ne sont pour ainsi dire jamais respectées. Elles le sont en revanche quand les travaux sont pris en charge par l'État à condition que l'on ait les matériaux et les hommes pour le faire; si les règlements ne sont pas respectés, les écoles sont déclarées non conformes. Souvent, également, le nombre d'écoles et leur éloignement des grandes villes rendent leur inspection difficile, voire impossible. Dans un pays comptant 34 inspecteurs et où 4 000 écoles neuves environ devaient être construites en deux ans, on a estimé, vu les distances et les autres tâches qui incombaient aux inspecteurs, que deux visites d'inspection par école pourraient être faites. Quand on sait que l'une d'entre elles a pour objet d'arrêter le choix de l'emplacement du bâtiment sur le site, on se rend compte que la vérification des qualités du bâtiment, construit pour résister aux violentes catastrophes naturelles qui s'abattent sur la région, est loin d'être aisée.

Quant à la qualité de la réglementation, celle-ci varie énormément. En général, quand le pays comprend une zone à fort risque sismique, la réglementation concernant les bâtiments urbains est satisfaisante, sauf — le cas s'est produit — lorsqu'on n'avait pas déclaré comme telle une zone sismique pourtant connue. Pour les écoles urbaines aussi, la protection contre les dégâts que pourrait occasionner le vent en cas de cyclones est généralement prévue. En revanche, il existe rarement un règlement de protection des écoles contre les inondations ou les ondes de tempête. L'Unesco a récemment passé avec une université un contrat de recherche pour la conception d'une fondation standard apte à résister aux ondes de tempête. La solution préconisée, à l'issue de recherches approfondies, a été l'emploi d'une fondation traditionnelle en caisson telle que celle employée pour les piles de ponts — technique beaucoup trop chère pour une petite école rurale. Il reste donc beaucoup à faire pour établir des normes et des méthodes répondant aux problèmes.

En résumé: a) les pays ayant une réglementation d'ordre public adéquate appuyée par un système d'inspection efficace ne sont vraisemblablement pas vulnérables (de tel pays sont assez rares sous les tropiques); b) le développement progresse à un rythme tel que le temps manque pour moderniser les règlements ou pour recruter et former le personnel spécialisé dans la conception d'écoles aptes à résister à des catastrophes naturelles et leur inspection; c) si les écoles urbaines sont générale-

ment conçues dans la perspective des catastrophes naturelles, c'est rarement le cas en ce qui concerne les écoles rurales.

La reconnaissance du risque et les catastrophes naturelles

On a tenté dans ce chapitre d'esquisser, très brièvement, une description des diverses situations qui se rencontrent en matière de conception et de construction des bâtiments scolaires en milieu exposé aux catastrophes naturelles. Les facteurs essentiels en ce domaine sont les populations et leur comportement, l'attitude qu'elles adoptent face au danger et leur degré de reconnaissance du risque. Il est, bien entendu, d'autres facteurs qui influent sur les actions à mener — nous en avons décrit quelques-uns — comme les contraintes financières, la pénurie de concepteurs, l'absence d'information sur les critères de conception et les méthodologies à mettre en œuvre.

Plus importantes que ces différents facteurs, certaines attitudes au niveau de la personnalité profonde qui freinent l'adoption de programmes de construction d'écoles protégées. Peut-être, comme le suggère M. Wolfenstein [3], les individus et les pouvoirs publics envisagent-ils la possibilité de catastrophe naturelle de manière très différente. Selon elle, face au risque de catastrophe naturelle, l'individu peut avoir l'une ou l'autre des trois réactions suivantes:

- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| 1:
Il n'y pense pas | 2:
Il y pense mais il ne croit pas que quelque chose lui arrivera | 3:
Il y pense et croit, intellectuellement parlant, que cela est possible, mais ne ressent rien profondément |
|-------------------------------|---|--|

Puis, quand le désastre est imminent, il pense:

- | | | | |
|------------------------------------|----|--------------------------------------|------------------------------|
| 4:
Nous serons tous tués | ou | 5:
Nous en réchappons tous | Donc, pourquoi se tourmenter |
|------------------------------------|----|--------------------------------------|------------------------------|

La réflexion collective des pouvoirs public, selon M. Wolfenstein, suit le cheminement suivant:

Ils se préparent au pire / S'adaptent à la réalité / Nient le risque / Exagèrent le risque / Justifient et estiment le risque / Décident que rien d'épouvantable ne va vraiment arriver

L'étude de Wolfenstein portait sur une population américaine. Il serait excessivement imprudent de penser que ses conclusions s'appliquent aux attitudes de populations de cultures différentes: de fait, un remarquable compte rendu

des réunions tenues par les autorités indiennes après le cyclone Andhra, établi par le Conseiller régional de l'Unesco pour les sciences sociales en Asie et dans le Pacifique [8] fait apparaître que les attitudes sont très différentes en Inde. Une seule chose semble certaine néanmoins: les attitudes jouent effectivement un rôle essentiel dans les décisions prises en matière de conception. Prenons comme exemple celui des trois hauts responsables des constructions scolaires dans trois États membres de l'Unesco. Tous trois sont de très hauts fonctionnaires, dont deux qui sont non seulement des concepteurs de métier compétents, mais aussi des administrateurs de premier ordre. Les écoles dont ils ont la responsabilité ne sont *pas* conçues pour résister aux catastrophes naturelles. Pourquoi? Les raisons qu'eux-mêmes ont données au fil de discussions échelonnées sur plusieurs années sont les suivantes:

La protection des écoles contre les catastrophes naturelles est un objectif nettement moins prioritaire que celui de construire de nouvelles écoles.

Le pays manque d'argent pour en assumer le surcroît. Il est moins coûteux de réparer des dégâts mineurs que de préprotéger les constructions.

C'est trop difficile: il faudrait former des inspecteurs.

Nous n'avons pas les matériaux, etc.

Les pays en question comptent à eux trois une population d'environ 50 millions de personnes.

Parmi ces raisons, les deux premières sont, sans doute, les plus importantes; arrêtons-nous y un instant. Mettons-nous à la place d'un responsable de haut niveau d'un pays qui mène la bataille du développement — économique, éducatif et social. C'est peut-être l'un des pays où l'espérance moyenne de vie se situe quelque part entre 40 et 50 ans; où quatre ou cinq enfants sur dix seulement dépassent l'âge de 5 ou 6 ans — ceux-là auront 60% de chances d'aller à l'école primaire et pratiquement aucun espoir d'entrer dans l'enseignement secondaire; où les villages n'ont pas l'eau potable, ni bien sûr d'égouts; où les maisons sont construites avec des matériaux locaux simples et comprennent une ou deux pièces au plus; où il y a peu de médecins, encore moins de dentistes et qui sont à des kilomètres de l'hôpital le plus proche. N'oublions pas le cyclone ou le séisme occasionnel.

Dans ces conditions, quelles sont les priorités pour les hommes politiques? Quels sont les besoins de la population?

Les risques importants dans une telle situation, telle qu'elle est perçue par la plupart, sont le risque de maladie (d'où la nécessité de médecins), le risque de chômage (en l'absence d'instruction), le risque de sécheresse et le désir d'améliorer la qualité générale de la vie. Il serait trop facile de dire que les gens qui ressentent ces besoins ne

sauraient les satisfaire s'ils sont tous tués par un tremblement de terre. L'argent manque pour améliorer la qualité de la vie. Les décideurs doivent faire des choix: faut-il par exemple dépenser 5% de plus pour protéger une école contre les catastrophes naturelles ou consacrer cette somme à l'amélioration de l'infrastructure médicale? Il ne fait guère de doute que les décideurs de beaucoup de pays choisiront l'investissement le plus sûrement et le plus immédiatement rentable, l'amélioration de l'infrastructure médicale, en l'occurrence.

Bibliographie annotée

1. JACKSON, E.L.; BURTON, I. Mécanismes d'adaptation de l'homme aux risques sismiques. *La protection contre le risque sismique*, Paris, Unesco, 1980. (Catastrophes naturelles.)
2. TORRY, W.I. Hazards, hazes and holes: A critique of *The environment as hazard* and general reflections on disaster research. A review essay. *The Canadian geographer*, vol. XXIII, n° 4, hiver 1979.

Il s'agit de notes de lecture de l'ouvrage de I. Burton, R. W. Kates et G. F. White, *The environment as hazard*, Oxford, Oxford University Press, 1978; l'article est intéressant par ses réflexions sur la recherche en matière de catastrophes naturelles et pour ses quatre pages de bibliographie. Torry met parfaitement en évidence les lacunes de la recherche sur les risques.

3. WOLFENSTEIN, M. *Disaster: A psychological essay*. Londres, Routledge & Kegan Paul, 1957.

Bonne analyse des attitudes des personnes et des autorités face à la perspective lointaine d'une catastrophe naturelle, à son arrivée imminente, à sa présence et à ses suites. Elle concerne les États-Unis d'Amérique et pourrait permettre l'établissement d'un modèle utile pour d'autres études axées sur cette culture, si tant est qu'établir un modèle soit faisable.

4. CENTRAL BUILDING INSTITUTE, INDIA. *Annual report, 1979*. Roorkee, the Institute, 1980.

Décrit la construction de trois types d'écoles, ayant chacune des planchers situés à différents niveaux pour répondre à différents risques d'inondation. Pour le risque d'inondation le plus important, les écoles ont deux niveaux, facilement accessibles par un escalier à l'air libre; elles sont destinées à accueillir les gens chassés de chez eux par la montée des eaux.

5. DALDY, A. F. *Small buildings in earthquake areas*. Garston (Royaume-Uni), Building Research Establishment, Department of the Environment, HMSO, 1972.
6. CANGIANO, M. *Peruvian rural school construction system*. Paris, Unesco, 1979. (Reports and Studies C 79, Division des politiques et de la planification de l'éducation).
7. UNESCO. *The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976*. Paris, Unesco, 1976. (Voir «Bibliographie annotée», note 1, p. 21.)

Dans la troisième partie qui traite des effets du séisme sur les bâtiments scolaires, il est dit que la zone de Gemona di Friuli, en dépit d'une longue histoire de phénomènes sismiques, n'avait pas été déclarée zone sismique; de ce fait, les écoles n'étaient pas conçues pour résister aux séismes.

8. UNESCO. *The Andhra cyclone: Tape recordings of a meeting of senior officials from the government of the State and of the Union of India, made after the cyclone at a meeting to review the event*. (Enregistrement sur bande magnétique réalisé par le conseiller régional en sciences sociales du Bureau régional de l'Unesco pour l'éducation en Asie et dans le Pacifique, Bangkok, 1979.)

Deux modèles d'action

Nécessité des modèles

La construction de bâtiments scolaires dans les États membres de l'Unesco est un processus pour ainsi dire ininterrompu. Beaucoup de ces États ne sont pas vulnérables aux catastrophes naturelles et le manuel qui pourrait être établi sur la base des conclusions de la présente étude ne les intéresserait vraisemblablement pas. A vrai dire, certains de ces pays ont atteint un tel niveau de compétence en matière de conception et de construction d'écoles protégées contre les catastrophes naturelles que c'est plutôt auprès d'eux qu'il faut aller chercher les renseignements propres à aider les autres.

S'agissant des pays vulnérables — et ils sont nombreux — nous nous sommes efforcé dans le chapitre précédent de décrire les problèmes que rencontrent les gouvernements pour assurer la sécurité des élèves. Dans le présent chapitre, nous tentons de construire quelques modèles d'action en vue d'indiquer les points d'intervention utiles. S'il ressort, par exemple, que le financement fait partout problème, c'est sans doute un manuel traitant du calcul des prix qu'il conviendrait de mettre à la disposition de ceux qui tentent de maintenir le coût de construction des bâtiments protégés aussi près que possible de celui des bâtiments qui ne le sont pas.

La difficulté est de construire des modèles qui soient suffisamment généraux pour faire place aux pratiques et aux problèmes courants d'un grand nombre de pays très différents, mais tous vulnérables.

Le modèle national

Ainsi qu'on l'a dit au chapitre précédent, dans certains pays, l'ensemble des constructions scolaires relève de la responsabilité de l'État. Parfois l'État se préoccupe de la même façon de toutes les écoles du pays, qu'elles soient urbaines ou rurales. D'autres fois, en revanche, il privilégie les écoles urbaines, soit que les populations urbaines organisées exercent sur lui des pressions politiques, soit

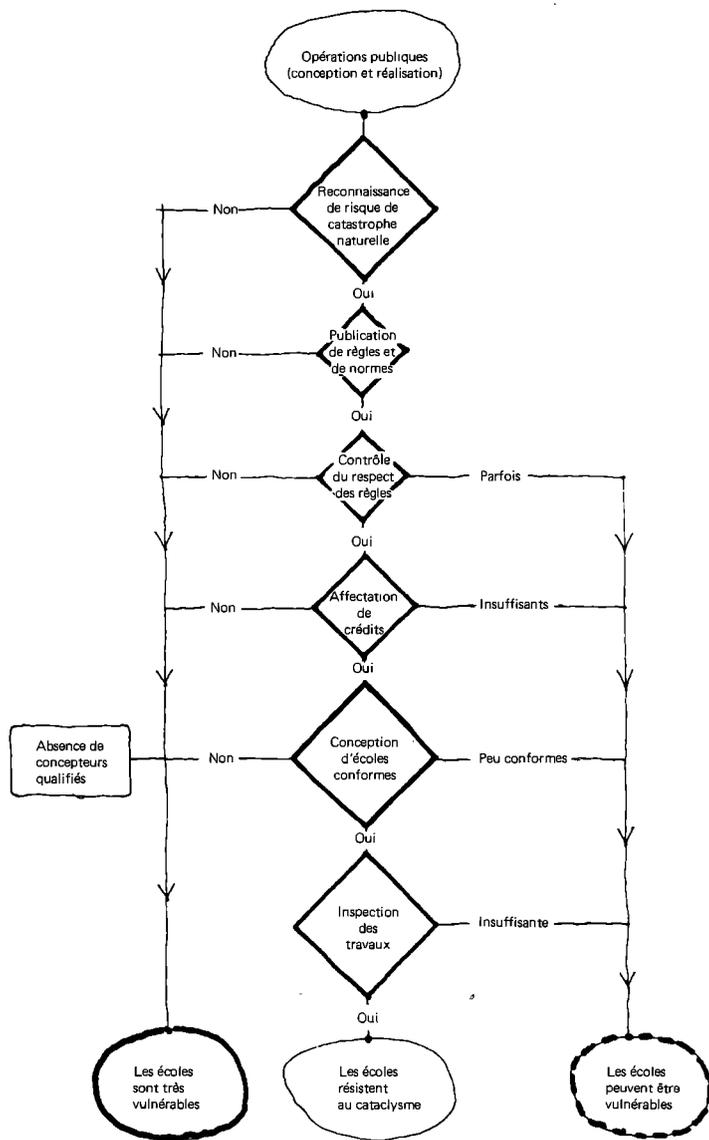


FIG. 17. Enchaînement des actions conduisant à la construction, par une collectivité locale, d'écoles protégées contre les catastrophes naturelles.

que le personnel d'encadrement pour superviser la construction des écoles rurales manque, soit même que l'accès des zones rurales soit trop malaisé. Ces deux situations, très courantes, peuvent se conjuguer avec une troisième, à propos de laquelle l'État n'a de responsabilité qu'en ce qui concerne certains types d'établissements scolaires. Dans quelques pays, la responsabilité de l'État, totale pour ce qui est des écoles primaires, ne s'étend pas aux écoles secondaires qui dépendent d'organisations privées. Dans d'autres pays, il existe un double système, l'État et les organismes privés se partageant les responsabilités pour ce qui est du primaire comme du secondaire.

La manière dont les travaux sont exécutés varie elle aussi. De même que la conception peut être assurée soit par des fonctionnaires, soit par des concepteurs privés, les travaux peuvent être réalisés par des entreprises publiques ou privées. Dans les pays à régime fédéral, il peut y avoir autant d'approches différentes que d'États dans le pays. Par conséquent, même si l'on ne considère que les écoles publiques, la diversité des actions qui seront entreprises, une fois le risque reconnu et compte tenu des attitudes des autorités, peut être très grande.

On trouvera à la figure 17 le schéma des principales actions menées successivement — sans doute avec quelques variantes selon les pays — lorsque l'on construit une école dans une zone menacée par une catastrophe naturelle.

Première étape: les autorités reconnaissent-elles ou non le risque de catastrophe naturelle? Dans l'affirmative, on part du principe qu'une telle reconnaissance aura, d'une manière ou d'une autre, des conséquences, que des règles, ou des normes de construction, seront publiées ou des fonds alloués, par exemple. Dans le modèle proposé, on considère que la non-publication de règles ou de normes traduit, de la part du gouvernement, une non-reconnaissance du risque encouru par les populations. Il peut arriver, bien entendu, que les pouvoirs publics reconnaissent effectivement le risque mais que, pour des raisons qu'ils se gardent bien de révéler, ils ne veulent pas agir. Tel a été, par exemple, le cas en Italie en 1980.

Puis s'enchaînent successivement les autres actions qui ont chacune leurs résultats: positifs, négatifs ou mitigés. Selon la qualité de ces résultats, le pays sera ou non équipé d'écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles.

C'est au niveau de chacune des actions notées dans un losange sur la figure qu'il peut être utile d'intervenir lorsque le résultat en est négatif ou mitigé: cette intervention pourrait consister à élaborer un manuel, organiser un cours de formation, fournir du matériel d'enseignement à distance, etc.

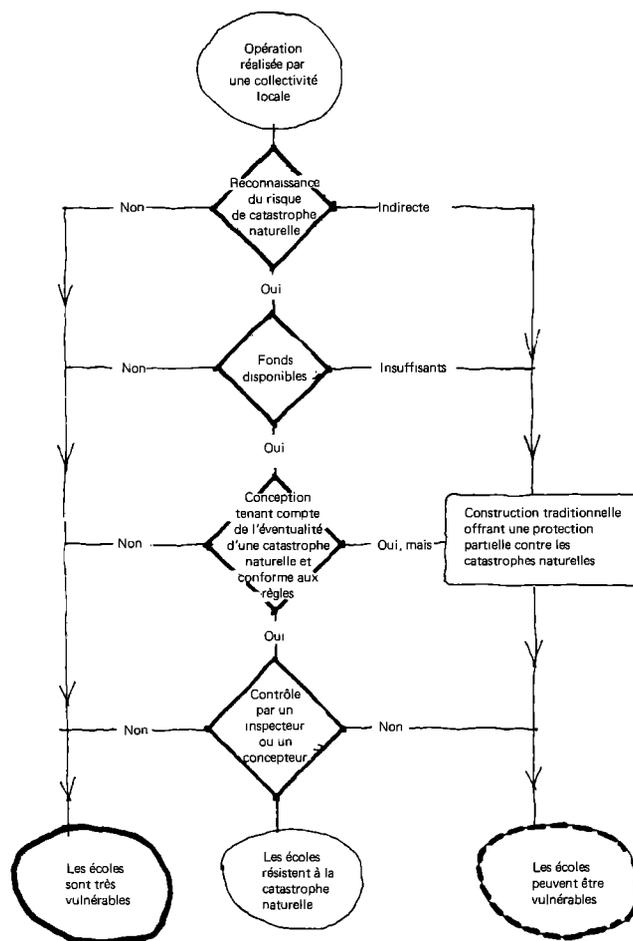


FIG 18. Enchaînement des actions conduisant à la construction d'écoles publiques protégées contre les catastrophes naturelles.

Le modèle local

De même que le modèle national, le modèle local représenté à la figure 18, comporte de nombreuses variantes. Dans la plupart des cas, la collectivité locale se contente de construire, ou même de faire construire, par une entreprise, un bâtiment conçu à l'échelon national en finançant les travaux et en fournissant gratuitement le terrain. Parfois, elle se charge de tout et, quand le bâtiment est prêt, elle demande l'envoi d'un enseignant. C'est par cette demande que l'État apprendra qu'une nouvelle école vient d'être construite. Parfois, si elle en a les moyens, elle engage un architecte de renom et des ingénieurs-conseils pour construire, à ses frais, une école bien conçue. Les cas de figure sont nombreux; cependant, nous avons l'espoir d'avoir présenté, dans le modèle, la plupart des actions successives qu'elles comportent.

C'est au niveau de chacune des actions inscrites dans un losange, qu'il peut être utile, si la notation correspondante est négative, d'envisager l'octroi d'une aide en matière de conception, de coût, etc.

Conclusion

Des modèles, on en arrive tout naturellement à se poser la question des informations requises pour établir un diagnostic de la situation à l'échelle mondiale: dans combien de pays existe-t-il des codes, normes et réglementations concernant la conception et la construction d'écoles capables de résister aux catastrophes naturelles? Dans combien de pays le respect des règles est-il assuré à la fois en zone urbaine et rurale, ou bien dans l'une des deux? Les écoles sont-elles bien ou mal conçues et le niveau de formation des concepteurs intervient-il en ce domaine?

On ne saurait répondre à ces questions sans disposer d'une évaluation de la situation dans chaque État membre vulnérable.

La reconnaissance du risque et les constructions scolaires

La reconnaissance du risque et l'école

Nous avons étudié dans le chapitre précédent les diverses formes que pouvait prendre la reconnaissance du risque. Dans ce chapitre-ci, nous irons plus loin dans la réflexion puisqu'il y sera question des mesures qu'il est possible de prendre quand le risque est reconnu et, plus précisément, de la nature des constructions scolaires à édifier en zone menacée. Voici ce que dit Prafulla Mohanti [1] de l'école primaire de son propre village, Nanpur, sur la côte de l'Orissa en Inde :

«L'école est installée dans une simple hutte de pisé couverte d'un toit de chaume. Elle a été sérieusement endommagée par le dernier cyclone en 1971 et n'a pas encore été réparée. L'État a alloué un crédit de 600 roupies pour les travaux, mais cela n'est pas suffisant. Les villageois veulent une bâtisse en dur suffisamment solide pour résister aux inondations et aux cyclones. Bien que le bâtiment actuel soit dangereux, on continue à l'utiliser, mais il n'est pas assez grand pour accueillir tous les enfants. Il ne comporte que trois pièces, d'environ 100 pieds carrés chacune, pour 141 enfants. Aussi fait-on en même temps deux classes — qui se tournent le dos — dans chaque salle.»

Nous avons déjà dit que les écoles sont disséminées sur tout le territoire d'un pays et généralement situées à faible distance de marche des centres des agglomérations. Dans les villages, l'école est souvent le seul bâtiment public et généralement c'est le plus grand. C'est donc bien là, pour ce qui est des zones rurales, que les gens devraient pouvoir trouver refuge en cas de catastrophe naturelle; par conséquent ils devraient pouvoir y avoir accès. Dans les villes où l'école n'est pas le seul bâtiment public de grandes dimensions, elle n'en reste pas moins un bâtiment occupant une position centrale dans l'agglomération et tout à fait propre, avec ses nombreuses salles de classe, ses toilettes et souvent sa cantine, à abriter provisoirement les sinistrés.

Les concepteurs devraient, on l'a dit, viser en troisième objectif: les hôpitaux, les centrales électriques,

les commissariats de police, les casernes de pompiers et d'autres bâtiments publics devraient pouvoir servir, en toutes circonstances, de centres de secours, d'organisation et d'hébergement, même après une catastrophe naturelle.

Lors de nombreuses catastrophes passées, les populations ont souvent quitté leurs maisons menacées pour se réfugier dans l'école et l'on ne compte plus les occasions tragiques où, à peine se sentaient-ils en sécurité, que le bâtiment s'effondrait sur eux [2].

On trouvera dans une étude sur les écoles d'une région de la Californie, après le séisme de 1952, un dramatique constat de ce qu'il advient lorsque les écoles n'ont pas été conçues pour résister aux séismes.

Ciborowski [3] résume bien les choses en deux phases: «En théorie, nous savons construire des grandes villes à l'épreuve des séismes, mais l'expérience a montré que cette solution, bien que possible, est économiquement irréalisable. En pratique, seuls quelques-uns des bâtiments les plus importants sont totalement parasismiques.»

Aussi peut-on conclure que, dans les cas où les risques de catastrophe naturelle sont reconnus, et que les pouvoirs publics, à l'échelon national ou local, ont pris le parti d'en tenir compte lorsqu'il s'agit de construire des écoles, les deux fonctions que l'édifice est appelé à remplir doivent être envisagées: l'école en tant qu'établissement d'éducation protégé contre les catastrophes naturelles et l'école en tant que lieu de refuge durant ou après un cataclysme.

De même que tant de solutions apparemment simples destinées à régler des questions d'intérêt public, cette proposition, de par sa dualité, posera à beaucoup de gouvernements des problèmes de compétence administrative et financière qui pourraient sembler insurmontables. L'éducation relève évidemment de la responsabilité du Ministère de l'éducation, et les catastrophes naturelles et leurs conséquences du Ministère de l'intérieur ou, parfois, du cabinet du premier ministre. Bien sûr, pendant et après le cataclysme, nul n'aurait l'idée d'interdire

qu'une école encore debout serve de lieu de secours. Ce sur quoi les divers ministères intéressés doivent s'entendre avant qu'un cataclysme ne survienne c'est sur l'élaboration d'une politique de construction de bâtiments scolaires conçus pour résister aux catastrophes et propres à servir à la fois d'écoles, en temps normal, et de lieux de refuge en cas de catastrophe naturelle.

Le programme soumis au concepteur devrait être le fruit de la réflexion commune d'éducateurs et de représentants du ministère responsable des secours en cas de catastrophe naturelle. Une telle coopération pourrait être réalisée dans quelques pays vulnérables, mais rares sont ceux où les questions de financement des bâtiments ne soulèveraient pas un problème administratif insoluble. Aussi nous faut-il, dans ce chapitre, traiter à la fois de la protection des écoles dont la seule fonction est d'être des établissements d'éducation et de celle des écoles pouvant en plus servir de refuge.

La notion de refuge

Selon la catégorie à laquelle appartient la catastrophe naturelle, un refuge répondra à des spécifications tout à fait différentes. Un refuge parasismique, sans aucune valeur *au moment de la secousse*, sauf bien sûr pour ceux qui s'y trouveraient par hasard, est très précieux après le séisme soit comme asile temporaire pour les sans-abri, soit en tant que centre pour les opérations de secours: administration, soins médicaux, distribution de nourriture, etc. (Les dizaines de milliers de survivants du séisme qui s'est produit en 1980 à Potenza, dans le sud de l'Italie, ont vécu dans des abris provisoires, dormant dans des voitures ou sous la tente, alors qu'il faisait un temps froid et cinglant avec une pluie torrentielle. Les écoles où certains auraient pu se réfugier s'étaient effondrées, tuant des enfants.)

En revanche, dans le cas d'un violent cyclone tropical, les populations se trouvant directement sur la trajectoire du cyclone auraient l'avantage de trouver un refuge où ils pourraient s'abriter pendant quelques heures, à l'abri des vents violents et de la montée des eaux de l'onde de tempête. Après le passage du cyclone, les gens, pour la plupart, rentreraient chez eux et le refuge pourrait temporairement héberger ceux dont les habitations auraient été totalement détruites.

Pendant un cyclone qui se produisit vers la fin des années 60, la population d'un petit village au nord de Chittagong se précipita dans un centre communautaire de deux étages conçu pour servir aussi de refuge. Environ 400 personnes s'entassèrent à l'étage supérieur. Ils restèrent là « serrés comme des sardines » pendant les qua-

torze heures qu'il fallut au cyclone pour passer. Ils ne pouvaient pas bouger tant ils étaient agglutinés. Beaucoup ne purent contrôler leurs intestins; la plupart étaient épuisés et apeurés, mais ils survécurent. Par la suite, le bâtiment fut nettoyé et rendu à ses fonctions initiales de centre communautaire.

De même, quand des rivières en crue menacent des maisons et leurs occupants, le refuge pourrait avoir à contenir un grand nombre de personnes pendant plusieurs jours jusqu'à ce que les eaux aient baissé.

Selon qu'il s'agit d'un séisme ou bien d'un cyclone (ou d'une inondation), la différence essentielle est que, dans le deuxième cas, le refuge *doit* héberger presque toute la population. Qui n'y trouve pas place risque d'être noyé.

Les sans-abri

Ce qui frappe dans les statistiques sur les catastrophes naturelles, c'est le nombre de sans-abri. Lors des tremblements de terre, les répliques telluriques qui détruisent fréquemment les bâtiments affaiblis empêchent les gens de rentrer chez eux.

On trouvera au tableau 4 le nombre de personnes déclarées sans-abri en 1966 [4] dans les pays recensés dans le tableau 3 comme potentiellement vulnérables. On notera que 1966 est loin d'être l'année de très grandes catastrophes naturelles. En 1970, le total des sans-abri dans les pays vulnérables a été de l'ordre de 1 million.

Tableau 4. Nombre de maisons détruites par les catastrophes naturelles en 1966 et nombre total des sans-abri

Pays	Nombre de maisons détruites	Nombre de sans-abri	Violente catastrophe nationale enregistrée (aucune information)
Bulgarie	10		
Chine			•
Congo	912		
Cuba	300	125 000	
Grèce	(a) 450 (b) 1 500		
Inde			•
Népal	5 200	20 000	
Ouganda	6 752		
Pakistan	(a) 4 860 (b) 1 300		
Pérou	300 (une zone seulement)		•
Turquie	(a) 4 (b) 4 000 (c) 19 000		
URSS	(Ouzbékistan)	100 000 250 000	

L'école-refuge en zone menacée par les violents cyclones tropicaux

Venons-en maintenant à l'école. Combien peut-on compter de personnes par école primaire? Ou, pour poser le problème d'une autre manière, en cas de catastrophe naturelle, combien de personnes chercheraient-elles refuge dans une école conçue pour y résister?

La réponse n'a pas besoin d'être exacte. On peut la calculer très facilement à partir des statistiques locales ou très approximativement, en multipliant le nombre des élèves de l'école primaire du village par trois. Ainsi, si l'école compte 150 élèves, la zone desservie comprendra une population de 450 personnes environ.

Donc, si un violent cyclone tropical survient, une école primaire rurale conçue pour résister aux cyclones pourrait avoir à abriter trois fois plus de personnes qu'il n'y a d'élèves inscrits.

Dans la pire des hypothèses, le temps que met un cyclone de 800 km de diamètre pour s'éloigner est de l'ordre de trente-deux heures (on suppose qu'il progresse à la vitesse de 25 km à l'heure). Si l'œil du cyclone progresse plus vite, le temps de passage est moindre. Dans le cas du cyclone de Chittagong dont nous avons parlé plus haut, les gens ont dû rester dans le refuge pendant quatorze heures car le cyclone progressait plus vite — probablement, à une cinquantaine de kilomètres à l'heure.

Comment les personnes qui trouvent refuge dans une école protégée s'organiseront-elles, comment passeront-elles leur temps, que feront-elles?

Cela dépendra en grande partie de l'argent dont on disposera. Bien des pays vulnérables ont des ressources insuffisantes pour construire des écoles, si simples soient-elles. Les 600 roupies destinées à l'école de Nanpur dans l'Orissa, mentionnée au début de ce chapitre, ne représentent qu'une somme très faible — l'équivalent, à l'époque, de quelque 60 dollars des États-Unis. A l'heure actuelle en Inde, par exemple, certains États de l'Union pourraient investir 1 500 dollars environ dans une nouvelle école primaire. D'autres pays ont davantage, ou moins, de ressources, mais très peu de pays vulnérables sont assez riches pour se doter de bâtiments scolaires de facture compliquée. Aussi peut-on supposer que si l'école doit servir de refuge, on s'efforcera en priorité, avec les ressources supplémentaires dont on pourrait disposer à cet effet, de la protéger contre les cyclones. Les réfugiés devront donc occuper le bâtiment dans l'état où il est, tel qu'il aura été conçu pour l'éducation.

Là où se produisent de violents cyclones, il y a souvent des inondations, et il faut donc construire des écoles à deux niveaux.

Prenons l'hypothèse d'une école destinée à accueillir 150 enfants; sa surface devrait avoisiner 150 m². Chaque niveau aurait une surface de 75 m² et 450 personnes (3 fois l'effectif de l'école) devraient pouvoir se tenir à l'étage supérieur, ce qui laisserait à chacune 75 m²:450 = approximativement 0,2 m² par personne. Il y aurait donc cinq personnes au mètre carré, ce qui est possible, comme on le voit sur la figure 19 si les gens restent debout (il reste même de la place).

En fait, huit adultes peuvent se tenir debout sur un mètre carré de plancher.

La plupart cependant, préféreront s'accroupir. Comme le montre la figure 20, on ne peut loger dans cette position que deux adultes et demi par mètre carré.

A peu près un tiers de la population sera constitué d'enfants, qui sont plus petits physiquement. Ainsi, une école rurale ordinaire, bien que n'offrant aucun confort, serait sans doute juste assez grande pour loger les personnes de la zone qu'elle dessert.

Les dessins montrent aussi que les gens pourraient bouger un peu, pour se faufiler par exemple jusqu'aux toilettes ou jusqu'à un poste d'eau potable. Les toilettes seraient très rudimentaires, un endroit avec des trous dans le plancher. A vrai dire, beaucoup de ces gens n'auraient probablement pas l'habitude d'utiliser des toilettes.

Cela posé, voyons quelles devraient être les caractéristiques d'une école primaire rurale, destinée à servir également de refuge lors d'un violent cyclone tropical:

1. Bâtiment conçu pour résister aux cyclones, c'est-à-dire à un vent soufflant à plus de 240 km à l'heure.
2. Plancher surélevé de 2 m par rapport au niveau attendu de l'inondation ou de la vague; conçu pour supporter le poids de personnes fortement entassées.

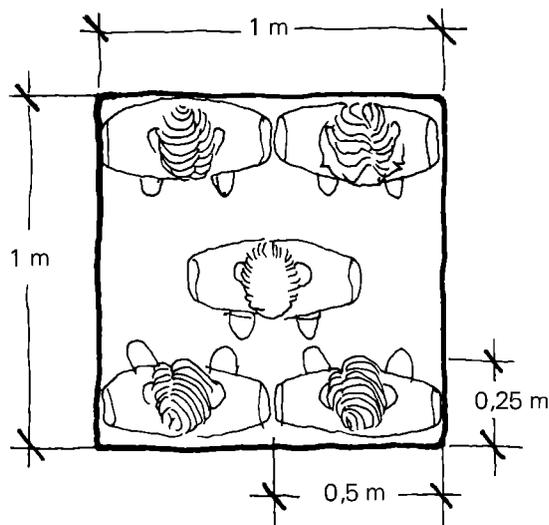


FIG. 19. Cinq hommes adultes se tiennent debout sur un mètre carré.

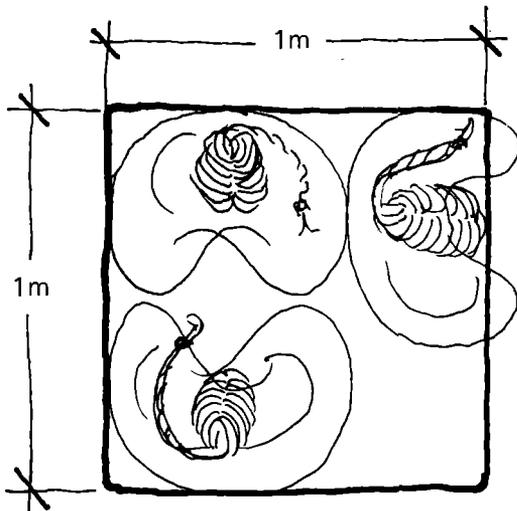


FIG. 20. Deux femmes et demie, adultes, se tiennent accroupies sur un mètre carré.

3. Fondations et poteaux capables de résister au battement de l'eau.
4. Fenêtres de l'étage bien protégées du vent direct.
5. Réserves d'eau au niveau supérieur.
6. Petit local où l'on puisse s'isoler, avec des trous ménagés dans le plancher pouvant servir de toilettes.
7. Bon escalier muni d'une rampe solide.

Le niveau inférieur peut être entièrement ouvert sous les tropiques humides; il est même souhaitable qu'il le soit pour qu'il n'oppose pas de résistance aux eaux.

On trouvera à la figure 21 le plan de chacun des niveaux d'une petite école primaire conçue pour résister aux cyclones.

La figure 22 représente l'une des deux salles de l'étage occupée comme elle le serait lors d'un cyclone.

L'école-refuge postséisme et cyclone

Une remarque commune à tous les rapports sur le sujet concerne l'absence des communications dans la période qui suit immédiatement une catastrophe naturelle. Les routes sont emportées par les cyclones, tandis que les séismes détruisent ou endommagent les ponts et occasionnent des glissements de terrain qui bloquent les routes [5, 6, 7]. D'où la nécessité, dans les zones (les plus reculées) touchées par des catastrophes naturelles, de pouvoir dans une certaine mesure vivre en état d'autosuffisance.

Si les bâtiments scolaires étaient conçus pour résister aux catastrophes, presque tous les villages disposeraient d'un centre de secours.

Il faut cependant souligner que, dans la plupart des régions vulnérables, la construction de telles écoles nécessiterait des apports financiers extérieurs, car construire des écoles, si simples soient-elles, est déjà pour beaucoup de pays, une trop lourde charge.

A supposer qu'elles puissent être construites, comment devraient-elles l'être? N'oublions pas que les catastrophes naturelles ne surviennent pas quotidiennement. Il faut donc concevoir une école qui puisse servir de centre de secours plutôt que l'inverse. Heureusement, certains équipements nécessaires sont communs aux deux fonctions. Toutes les écoles devraient être équipées de toilettes et de postes d'eau potable; mais il est vrai que beaucoup d'écoles n'ont ni les unes ni les autres. La construction de toilettes et l'alimentation en eau potable représenteraient donc un double progrès dans le domaine à la fois de l'éducation et des secours.

Deuxièmement, il devrait y avoir dans toutes les écoles des installations de cuisine rudimentaires: un âtre et une cheminée par exemple. Un tel équipement serait lui aussi utile à double titre: il permettrait de nourrir les enfants en temps normal et les éventuels sinistrés.

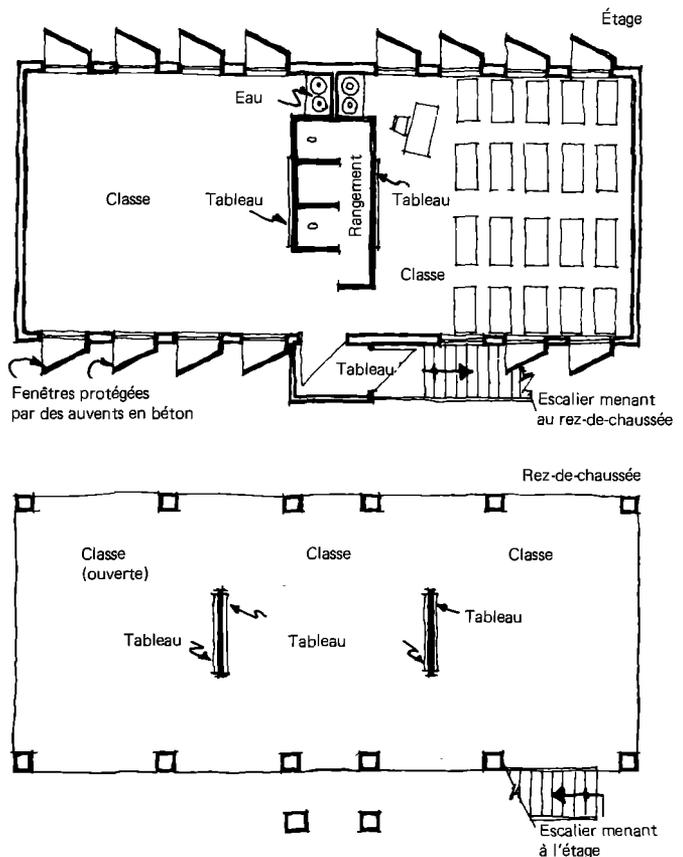


FIG. 21. Plans d'une petite école primaire conçue pour résister aux cyclones.

Reconnaître le risque et y faire face: un diagnostic

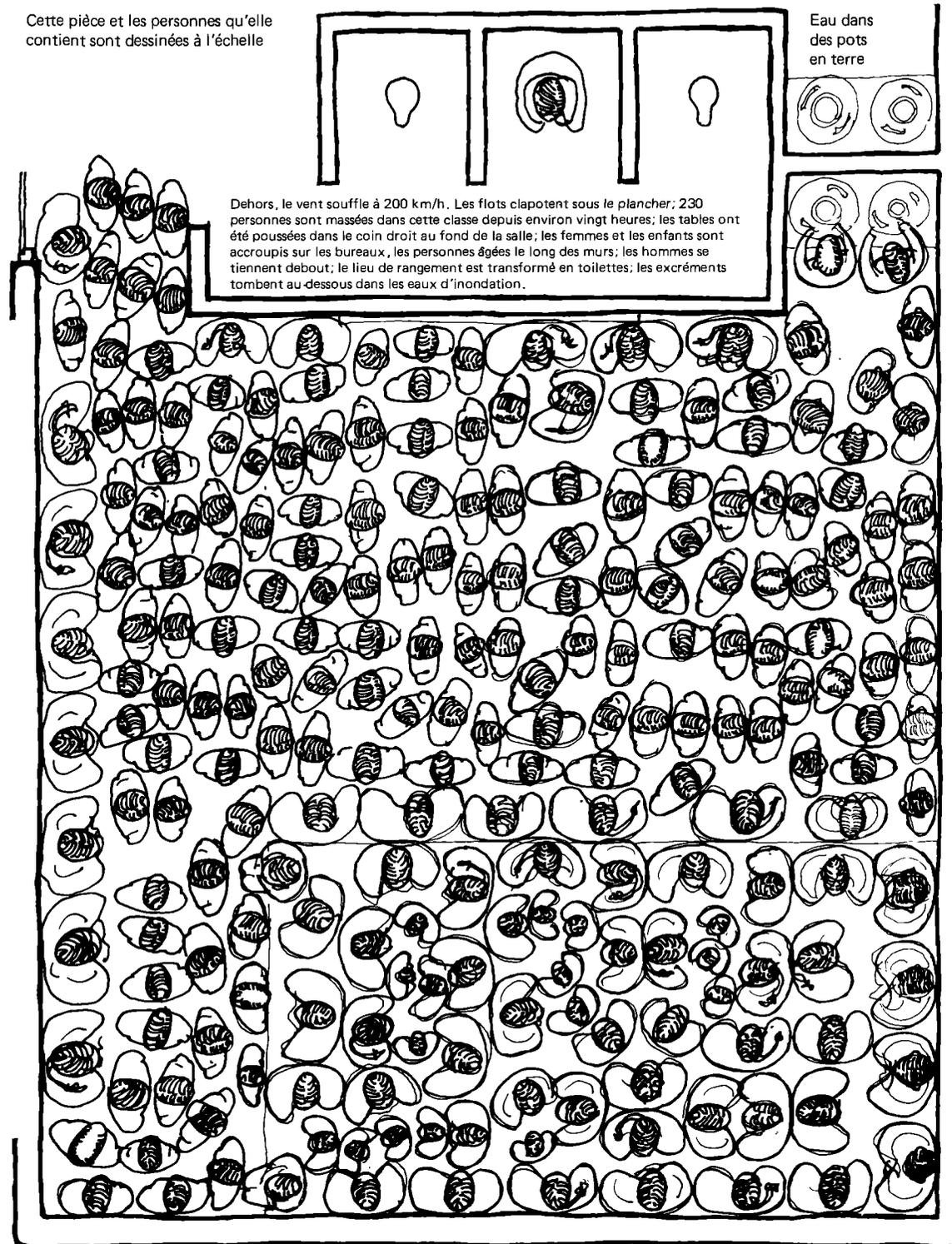


FIG. 22. Réfugiés dans une salle de classe lors d'un cyclone.

Enfin, il devrait y avoir un grand lieu de rangement dans chaque école. Nécessaire pour loger le matériel scolaire, il serait extrêmement utile pour entreposer temporairement des denrées alimentaires et des vêtements après une catastrophe naturelle.

Ces trois équipements — toilettes et poste d'eau, installation de cuisine, lieu de rangement — augmenteraient peu le coût d'un bâtiment qui, de toute façon, serait plus élevé que celui d'une école ordinaire; en revanche, ils contribueraient sensiblement à atténuer les souffrances de la population touchée, avant l'arrivée de secours plus importants venus de la capitale.

Une école qui protège les enfants pendant que survient une catastrophe naturelle

Quand les pouvoirs publics ne peuvent ou ne veulent pas assigner cette double fonction aux bâtiments scolaires à l'échelon national, ou que d'autres bâtiments sont équipés de manière à pouvoir servir de centre de secours, il importe néanmoins de veiller à ce que les bâtiments scolaires protègent les enfants lorsque survient une catastrophe naturelle. Cela est techniquement possible. Restent généralement à acquérir et à utiliser les moyens techniques voulus et à les mettre en œuvre: c'est précisément de cela dont il est question dans cette étude.

Bibliographie annotée

1. MOHANTI, Prafulla, *My village, my life: Nanpur, a portrait of an Indian village*. Londres, Transworld Publishers, 1973.
Description d'un village reculé en Inde, loin de tout, ressemblant à cent mille autres non seulement en Inde mais aussi, sans doute, à peu de chose près, à beaucoup de villages dans d'autres parties du monde. L'auteur montre bien comment ce village constitue un monde clos, vivant sur ses propres ressources. La conclusion s'impose: mieux il pourra se préparer aux catastrophes naturelles, plus grandes seront ses chances de tenir jusqu'à ce que des secours parviennent enfin de la capitale.
2. COHEN, S.P.; RAGHAVULU, C.V. *The Andhra cyclone of 1977: individual and institutional responses to mass death*, Delhi, Vikas, 1979. (Voir «Bibliographie annotée», note 5, p. 21.)
3. CIBOROWSKI, A. Quelques aspects de la planification du développement des agglomérations dans les régions menacées par les séismes. *La protection contre le risque sismique*. Paris, Unesco, 1980. (Catastrophes naturelles.)
Énoncé bien fait des mesures à prendre, bien que l'auteur soit conscient que nombre d'entre elles ne peuvent pas être mises en œuvre.
4. UNESCO. *Annual summary of information on natural disasters*. Paris, Unesco, 1966-1975. (Voir «Bibliographie annotée», note 3, p. 21.)
5. MICHAELIS, A. *Disaster past and future*. Transcription d'une conférence donnée à Exercise Helping Hand, Royal Army Medical Corps (octobre 1972). Publiée par le *Daily Telegraph*, 1972, 16 p.
6. KROGER, E.K. The problems of international aid in catastrophes. *Münchner medizinische Wochenschrift* (Munich), vol. 114, n° 4, 1972, p. 139-147.
7. RENNIE, K. After the earthquake. *Lancet* (Londres), 2 octobre 1970, p. 704-707.

Contrôle de la conception et de la construction des bâtiments scolaires dans les zones menacées par les catastrophes naturelles

Procédures de contrôle

Pour être efficace, un système de contrôle de la construction de bâtiments conçus pour résister aux catastrophes naturelles devrait comporter les éléments suivants: une législation et la réglementation qui en découle pour le contrôle de la conception des édifices scolaires, du travail effectué et des matériaux utilisés; des règles et normes de construction qui peuvent être rendues obligatoires par la réglementation en vigueur; l'obligation, avant réalisation, de soumettre les plans et devis du bâtiment à l'approbation de l'autorité de contrôle; la surveillance ponctuelle des travaux par le représentant de l'autorité de contrôle.

On verra dans le présent chapitre ce qu'il en est dans les pays menacés (voir tableau 5).

Règlements concernant la construction en zone sismique

En 1963, il existait une réglementation de la construction dans un tiers environ des pays menacés par les séismes [1]. Le nombre de ces pays s'est accru depuis lors et atteint aujourd'hui un peu plus de la trentaine [2]. Toutefois, beaucoup d'entre eux sont incapables de faire respecter cette réglementation dont le caractère reste donc consultatif. Le Mexique, par exemple, est un pays où la réglementation des constructions scolaires parasismiques n'est pas d'ordre public, mais dont les dispositions cependant sont respectées pour les écoles préfabriquées que l'on construit aujourd'hui.

De manière générale, la situation demeure peu satisfaisante; de nombreux pays sont soit dépourvus de toute réglementation, soit dans l'impossibilité de la faire respecter.

Le problème de l'application de la réglementation en matière de construction scolaire parasismique restera vraisemblablement entier. Dans les pays pauvres, comme le sont la plupart des pays vulnérables, les matériaux de construction de bonne qualité sont chers — trop chers en

tout cas pour les collectivités locales qui se sont engagées à construire elles-mêmes une école, et souvent même trop chers pour l'État. Le respect des normes de qualité des matériaux, tels que le ciment ou le béton, nécessairement strictes, suppose des vérifications à l'aide d'un appareillage approprié qui, souvent, n'est pas disponible, vu son coût élevé. Fréquemment aussi, les nouvelles méthodes de construction qui sont imposées de par le règlement sont soit mal comprises, soit franchement refusées. Enfin, comme on le soulignait plus haut, il se peut que les autorités aient une attitude fataliste à l'égard des séismes et qu'elles ne soient pas disposées à prendre des mesures pour protéger les écoles contre les catastrophes naturelles [3, p. 212].

Par surcroît, le contrôle de l'application de la réglementation nécessite un déploiement de forces souvent à la fois trop coûteux et trop compliqué pour des administrations déjà surchargées [3, p. 182-183].

L'inconvénient des règlements de construction est leur complexité. Certains ont estimé [4] qu'il fallait en réalité deux sortes de règlement: un pour les concepteurs de métier, un autre pour les petits entrepreneurs comme ceux qui construisent les écoles rurales. Rappelons que dans les pays menacés, à peu près 80% de la population et des écoles se trouvent dans des zones rurales. C'est donc l'école rurale qui bénéficierait de l'élaboration d'une version simplifiée des règlements de construction. Daldy [5] reprend cette idée et la pousse un peu plus loin. (Voir le résumé de l'étude de Daldy établi par Mooij [6] dont une page est reproduite sur la figure 23.)

Bien entendu, l'une des raisons pour lesquelles plusieurs pays n'ont pas de réglementation parasismique est son coût et le temps qu'il faut pour l'établir. Arya *et al.* [7] en font apparaître la difficulté en dressant la liste des principaux éléments ou indications qui devraient figurer dans une telle réglementation:

Une répartition, à grande échelle, des séismes, impliquant l'établissement et la publication de cartes.

Des coefficients sismiques pour chaque zone en supposant que le terrain d'assise est solide.

Des facteurs correctifs selon l'importance du bâtiment, la conformation du sol et son comportement lors des séismes antérieurs.

Des contraintes admissibles ou coefficients de charge, sous les combinaisons de charges permanentes, de surcharges et de charges sismiques, pour les matériaux de construction que l'on utilise couramment dans le pays.

Des indications détaillées sur les facteurs de ductilité et d'absorption des poussées.

Des principes d'architecture concernant notamment la symétrie, l'orthogonalité, l'insertion dans le bâtiment d'éléments admettant l'écrasement, les ouvertures dans les murs, etc.

Des méthodes d'estimation des dégâts et des critères pour statuer sur l'état des écoles endommagées.

La réparation, la remise en état et le renforcement parasismique.

Des statistiques et des rapports.

Établir une réglementation parasismique ainsi conçue représenterait sans aucun doute un énorme travail.

Une autre possibilité s'offre au pays qui souhaiterait se doter d'un code national de la construction: employer les mêmes matériaux et les mêmes méthodes de construction qu'un pays voisin, présentant une sismicité analogue. Il y a quelques années, l'Afghanistan a emprunté sa réglementation à l'URSS; elle en a depuis fait bon usage. On a suggéré [8] à la Trinité-et-Tobago d'utiliser les normes SEAOC (établies par le Seismological Committee of the Structural Engineers Association of California). Existe aussi le *Model regulations for small buildings in earthquake and hurricane areas* [9] publié par le Building Research Establishment du Royaume-Uni.

Procéder ainsi peut être utile, ne serait-ce que comme solution d'attente jusqu'à ce qu'on puisse entreprendre de définir une réglementation nationale.

Malheureusement, dans le meilleur des cas, l'adoption d'une réglementation n'aura de conséquences que pour les constructions neuves. Or dans les pays vulnérables, ce sont les écoles anciennes qui courent le plus grand risque. Le renforcement ou la reconstruction de ces écoles plus anciennes poserait des problèmes financiers et administratifs insolubles. Il paraît peu probable qu'on entreprenne dans un proche avenir d'améliorer la structure des milliers d'écoles situées dans les zones sismiques, alors que dans bien des régions du globe elles ne font pas l'objet du minimum d'entretien que représente par exemple la réfection des peintures. Il faudrait cependant attirer l'attention des planificateurs de l'éducation sur la nécessité d'une telle amélioration, afin qu'au moment où ils auront à faire des choix financiers, ils puissent réfléchir à la question de savoir s'il vaut mieux dépenser

des sommes relativement faibles, de l'ordre de 2 à 10% du coût des bâtiments neufs pour renforcer les anciens, ou dépenser des sommes beaucoup plus importantes si un séisme venait à détruire des écoles.

La périodicité des catastrophes sismiques souligne la nécessité d'élaborer des codes de la construction et, là où ils existent, de faire en sorte qu'ils soient appliqués. La troisième partie de notre étude propose un certain nombre de mesures à cet effet, mais sensibiliser le public sur ce sujet est essentiel. Il faut donc tout mettre en œuvre pour que soit connue la réglementation inhérente aux constructions scolaires parasismiques, si l'on veut réduire le nombre des catastrophes naturelles futures ainsi que leurs conséquences [2].

La réglementation de la construction en zone menacée par les cyclones

Pour la plupart, les dégâts occasionnés par les cyclones sont dus aux vents très violents. Des spécifications relatives à la résistance au vent figurent dans la section «ossature» de la plupart des codes de la construction. Aussi, les ingénieurs civils ont-ils l'habitude de tenir compte du facteur vent dans leurs calculs concernant les poutres, les murs et les éléments de charpente.

En pratique, cependant, les dégâts provoqués par les cyclones, qui vont fréquemment jusqu'à l'effondrement des édifices, sont dus à la rupture des attaches des éléments du bâtiment. Nous donnerons un exemple caractéristique: lors d'un violent cyclone, une fenêtre bien construite résistera au vent, mais, vraisemblablement, elle sera entièrement arrachée avec les parties de mur qui l'entourent. L'explosion (cela ne peut se comparer à rien d'autre) produit une surcharge d'autres parties du bâtiment; ce qui aggrave les dégâts. Les toits en pente résistent aussi souvent fort mal. Les boulons de fixation des tôles de couverture peuvent n'être pas assez solides et les tôles sont emportées, entraînant parfois avec elles les pannes et d'autres parties de la charpente.

Or ces points de détail, qui sont d'une importance primordiale pour la résistance des bâtiments aux cyclones, sont rarement traités dans les règlements concernant la construction.

Quant aux ondes de tempête — cette élévation du niveau de l'eau qui, quand elle se produit, noie des milliers de personnes — ils n'en font pratiquement pas état. Il ressort à l'évidence de ce qui précède qu'une réglementation de la construction anticyclone doit entrer en vigueur au plus tôt. L'Australie a, après le cyclone Tracy en 1974, assorti de dispositions relatives aux cyclones l'Australian Model Uniform Building Code, tandis

Reconnaître le risque et y faire face: un diagnostic

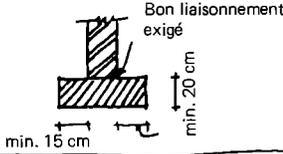
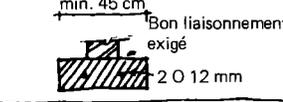
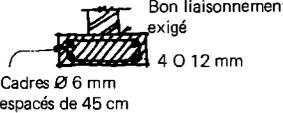
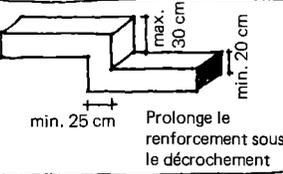
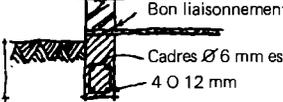
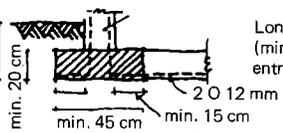
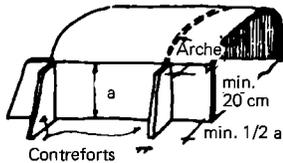
D. Fondations		
1. Fondations reposant sur un sol dur		Voir B1
2. Semelle filante		
a. Faible sismicité; dosage du béton 1:3:5 (1 partie de ciment, 3 de sable, 5 d'agrégats grossiers)	 <p>Bon liaisonnement exigé min. 15 cm min. 20 cm</p>	On exige un bon liaisonnement entre le mur et la fondation: aucun glissement sur la surface lors du séisme
b. Sismicité moyenne; dosage du béton 1:2:4	 <p>Bon liaisonnement exigé min. 45 cm 2 O 12 mm</p>	Accroît la résistance de la fondation
c. Forte sismicité	 <p>Bon liaisonnement exigé 4 O 12 mm Cadres Ø 6 mm espacés de 45 cm</p>	Accroît la résistance de la fondation
d. Utilisation de semelles décalées: seulement en cas de sismicité faible et moyenne	 <p>max. 30 cm min. 25 cm min. 20 cm Prolonge le renforcement sous le décrochement</p>	Assure la continuité de la semelle filante
3. Fondation filante étroite	 <p>Bon liaisonnement exigé min. 60 cm Cadres Ø 6 mm espacés de 45 cm 4 O 12 mm</p>	
4. Semelle isolée; dosage du béton 1:2:4	 <p>min. 45 cm min. 20 cm min. 15 cm Longrine de liaison (min. 45 x 20 cm) entre les semelles 2 O 12 mm</p>	
5. Fondations sur pieux	Relier les têtes de pieux au-dessous du niveau du sol par des longrines en béton armé	Accroît la rigidité de la construction
E. Murs de terre		
Sont peu solides; si on ne peut éviter de les utiliser, ils nécessitent une mise en oeuvre particulièrement soignée		
1. Contreforts: deux à chaque angle au droit des murs de refends, des voûtes, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Bien liés au mur - Construits en même temps que le mur  <p>Arche min. 20 cm min. 1/2 a Contreforts</p>	Une bonne liaison est essentielle; elle évite les fissures de retrait. Les contreforts empêchent les murs de s'écarter et accroissent la résistance du bâtiment

FIG. 23. Bref exposé des spécifications à respecter pour une construction parasismique (extrait).

qu'aux Philippines, le National Structural Code for Buildings contient un chapitre particulier sur la question. Comme dans le cas des règles parasismiques, plusieurs pays ont adopté les règles d'autres pays soumis à des vents violents. Au Bangladesh, par exemple, les normes de résistance au vent admises sont celles du Royaume-Uni et des États-Unis d'Amérique. Ces deux pays ont d'ailleurs publié des ouvrages sur les règles concernant les cyclones qui pourraient être appliquées dans les pays vulnérables [9, 10], et les pays qui éprouvent des difficultés financières ou administratives à élaborer un code national pourraient utilement en reprendre à leur compte les conclusions.

Contrôle des travaux en cours de construction

Aux États-Unis d'Amérique, l'un des quelques États ayant un code de la construction applicable à tout le territoire, a minutieusement examiné les plans de construction depuis plusieurs années. Cependant, comme il ne dispose pas d'un service d'inspection sur le terrain, les résultats qu'il a obtenus dans la prévention des catastrophes, par exemple en ce qui concerne l'effondrement des bâtiments, sont parmi les plus mauvais du pays [11]. On pourrait en conclure qu'un bâtiment doit, pour remplir la fonction qui lui a été assignée, être construit de façon strictement conforme aux plans et aux spécifications du concepteur.

Il y a, en fait, des inspecteurs dans la plupart des pays vulnérables, mais ils sont trop souvent trop peu nombreux pour surveiller les multiples chantiers de construction d'écoles rurales disséminées sur tout le territoire. La surveillance est plus facile pour les zones urbaines et il est pour ainsi dire admis, dans certains pays, que seuls seront contrôlés les travaux concernant la construction des écoles primaires et secondaires situées dans les villes et, dans les zones rurales, celle des écoles secondaires les plus importantes. Les écoles primaires, et principalement celles situées dans des endroits reculés, sont rarement inspectées par des techniciens, les inspecteurs d'enseignement se chargeant souvent de l'aspect comptable des procédures administratives de l'État en autorisant les paiements après avoir constaté l'achèvement des travaux.

La situation pourrait être améliorée de deux façons. La première consisterait à fournir des plans spéciaux, que des entrepreneurs ruraux ou la population d'un village résolu à construire sa propre école puissent lire. Bien sûr, les qualités visuelles de ces plans ne seraient pas seules importantes. Il faudrait aussi qu'ils reprennent, autant que possible, les techniques de construction locale qui pour-

raient être modifiées, si nécessaire, pour mieux résister aux catastrophes naturelles.

La seconde façon d'accroître la résistance des écoles rurales consisterait à utiliser des éléments préfabriqués, dont la qualité peut être contrôlée sur les lieux de fabrication (situés dans les villes). Telle est la solution choisie par un certain nombre de pays menacés, notamment les Philippines, le Mexique et le Pérou. Cela impliquerait que soient formées des petites équipes de personnes qui seraient envoyées sur les lieux de destination, à titre de conseillers et en même temps que les éléments préfabriqués destinés à la construction. Cette solution serait sans doute beaucoup moins onéreuse et plus efficace que celle consistant à rémunérer tout un corps d'inspecteurs de travaux.

Conclusions

Nous avons, dans ce chapitre, mis en évidence l'un des principaux obstacles qui s'oppose à l'introduction universelle de codes parasismiques de la construction: le coût. L'établissement d'un tel code est en lui-même onéreux; les pouvoirs publics locaux et nationaux considéreraient certainement qu'il coûterait cher d'en faire respecter les dispositions et d'avoir à mettre en place un système de contrôle des bâtiments existants.

Plusieurs pays ont tenté, avec succès, de surmonter ces difficultés. Diverses méthodes ont été employées à cet effet: utilisation des règlements en vigueur dans des pays soumis à des risques semblables de catastrophe naturelle; recours au préfabriqué pour équiper les zones rurales en écoles sûres et, ainsi, éviter les coûts de l'inspection des bâtiments *in situ*; mise au point de règles particulièrement simples à l'intention des entrepreneurs ruraux et de plans faciles à utiliser dans des contextes ruraux; et adaptation des méthodes de construction rurales afin de construire des bâtiments où la sécurité serait plus grande.

Bibliographie annotée

1. FOURNIER D'ALBE, E.M. Comment éviter les désastres causés par les tremblements de terre. *Impact: science et société* (Paris, Unesco), vol. XVI (1966), n° 3, p. 205-219.
2. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Prévention et atténuation des catastrophes. Le point des connaissances actuelles*. Vol. 3: *Aspects sismologiques*. New York, Nations Unies, 1977. (Voir «Bibliographie annotée», note 2, p. 21.)
3. MANNING, D. H. *Disaster technology. An annotated bibliography*. Oxford, Pergamon Press, 1976. (Voir «Bibliographie annotée», note 4, p. 21.)

Reconnaître le risque et y faire face: un diagnostic

4. AMBRASEYS, N. N.; ZATOPEK, A.; TASDEMIROGLU, M.; AYTUN, A. *Turkey: The Mudurnu Valley (West Anatolia) earthquake of 22 July 1967*. Paris, Unesco, 1968.
5. DALDY, A. F. *Small buildings in earthquake areas*. Garston (Royaume-Uni), Building Research Establishment, Department of the Environment, HMSO, 1972. (Voir «Bibliographie annotée», note 5, p. 21.)
6. MOODI, D. *Small buildings in earthquake areas*. Bangkok, Unesco, 1973. (Educational building digest, n° 2.)
7. ARYA, A. S. *et al. Influence of natural disasters (earthquakes) on educational facilities. Final report of a study*. Roorkee, School of Research and Training in Earthquake Engineering, Université de Roorkee, 1977.

Ce document, d'une grande richesse, traite des problèmes posés par les séismes en ce qui concerne les équipements éducatifs dans la région Asie; toutefois, nombre de questions abordées intéressent l'ensemble des zones menacées. Les auteurs ont le mérite de reconnaître les difficultés surtout d'ordre pratique, auxquelles se heurtent les pays qui souhaiteraient construire des bâtiments résistant aux catastrophes naturelles, mais qui n'ont pas les moyens financiers nécessaires pour le faire.

8. KEY, D. E.; TOMBLIN, J.; IMBERT, I. D. C. *Preliminary report on the design of earthquake-resistant structures*. Seismic Committee, The Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago, février 1968.
9. BUILDING RESEARCH STATION (Royaume-Uni). *Model regulations for small buildings in earthquake and hurricane areas. Tropical building legislation*. Garston, the Station, 1966.
10. REFAUSTE, N. J.; MARSHALL, R. D. *FY 74 progress report on design criteria and methodology for construction of low-rise buildings to resist typhoons and hurricanes*. Office of Science and Technology, Washington, D.C., AID, 1974.
11. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Prévention et atténuation des catastrophes. Le point des connaissances actuelles*. Vol. 9: *Aspects juridiques*, p. 9. New York, Nations Unies, 1980.

Prémunir les écoles contre les catastrophes naturelles : comment y parvenir

Généralités

Nous avons commencé par examiner comment les autorités s'y prenaient pour atténuer les conséquences désastreuses des catastrophes naturelles et les différentes tentatives de réglementation en matière de construction des bâtiments scolaires. Maintenant, il nous paraît utile de parler des organismes spécialisés dans la construction et de l'ensemble des opérations de construction d'une école. C'est, en effet, de ces organismes que dépend une éventuelle amélioration de la situation dans les pays à risque.

Dans la plupart des pays, la structure et le contenu du système d'éducation relèvent de la responsabilité du Ministère de l'éducation. Est également de son ressort tout ce qui concerne les enseignants — recrutement, formation, inspection et rémunération — ainsi que l'approbation et la fourniture de matériels pédagogiques, comme les manuels et les auxiliaires visuels.

Il en va tout autrement, d'ordinaire, pour les constructions scolaires. Elles peuvent soit dépendre directement d'un service spécialisé du Ministère de l'éducation, soit — et c'est le cas le plus souvent — être confiées, par ce ministère à un autre ministère auquel l'enveloppe budgétaire allouée à cet effet est transmise, et dont la tâche est de choisir les sites et d'exécuter les travaux; les bâtiments scolaires, une fois terminés, repassent sous la responsabilité du Ministère de l'éducation.

Au cours des dernières années, la nécessité d'accélérer le développement intégré des zones rurales a conduit à mettre en place des services de développement rural responsables de l'ensemble des infrastructures rurales dans une région ou une province donnée. C'est de ce service que relève l'organisation de la construction dans son ensemble, les activités qui s'ensuivent dans les divers bâtiments construits pour l'agriculture, l'éducation et la santé étant contrôlées par le ministère de tutelle approprié.

Dans les pays à structure fédérale, les choses fonctionnent un peu différemment. Un ministère ou un département « fédéral » de l'éducation est chargé — c'est là sa

fonction principale — de veiller au développement uniforme et coordonné de l'éducation, qui est du ressort de l'État. Pour pouvoir remplir ce mandat, les autorités responsables en matière d'éducation reçoivent du Parlement d'importants budgets dont ils reversent une partie, sous forme de crédits ou sous une autre forme, aux divers États fédérés selon leurs besoins. L'Inde, le Nigéria et le Brésil sont des exemples de pays ayant une structure fédérale.

Ce type de structure fédérale présente un intérêt considérable dans le contexte de notre étude. Lorsqu'un État fédéré est dans l'incapacité de financer la construction d'écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles, et que, partant, de nombreuses écoles sont détruites ou endommagées par un cataclysme, le gouvernement fédéral ou central peut affecter des fonds en vue de leur reconstruction selon les normes requises pour renforcer leur résistance, au titre notamment de la poursuite du développement équitable de l'éducation et de la réduction des disparités régionales.

Cependant, la responsabilité de la construction des bâtiments scolaires ne relève pas partout du gouvernement central. C'est parfois aux autorités locales qu'il appartient, dans leur domaine de compétence, de définir et de financer les programmes de constructions scolaires. Il arrive aussi fréquemment que des municipalités construisent, à leurs frais, leurs propres écoles. Dans quelques pays, le Népal par exemple, c'est à la population desservie qu'il appartient de construire l'école primaire dont elle a besoin. Dans de tels cas, l'État se contente de prendre en charge les enseignants et d'assurer l'inspection pédagogique.

Enfin, dans un certain nombre de pays à risque, comme le Bangladesh et les Philippines, l'enseignement secondaire est en grande partie assuré par des organisations privées, à but lucratif ou non, avec généralement un certain contrôle de l'État sur les programmes et les enseignements. L'institution éducative se charge alors de la construction de ses propres bâtiments, et fait appel à des architectes et des entrepreneurs privés. Certaines

normes sont parfois imposées par l'État, par exemple le nombre de toilettes à prévoir, la surface des classes, etc.

Si grande est donc la diversité des instances dont relève la construction des bâtiments scolaires dans les pays à risque qu'on voit mal comment elles pourraient adopter une même procédure pour augmenter le nombre des écoles conçues pour résister aux catastrophes naturelles.

Planification de l'éducation

Le principal obstacle qui s'oppose à la construction et à l'aménagement d'écoles où les enfants soient en sécurité et qui offrent un refuge sûr à la population avoisinante, pendant et après une catastrophe naturelle, est, comme on l'a dit au chapitre précédent, le coût des opérations.

Aussi le premier facteur qui entre en ligne de compte est-il la planification de l'éducation. Ce sont les planificateurs de l'éducation qui décident du meilleur emploi des ressources disponibles pour le développement de l'éducation dans le pays. C'est donc vers eux, en tout premier lieu, que doit être dirigé tout effort visant à la protection des écoles dans les zones menacées par des catastrophes naturelles.

Pour les planificateurs de l'éducation, les bâtiments scolaires conditionnent la qualité de l'éducation. Il leur faut donc, tout d'abord, prévoir quels seront les besoins futurs en infrastructures scolaires et inscrire au plan les constructions supplémentaires correspondantes; et, ensuite, s'assurer que le pays s'emploie véritablement, dans le cadre du plan, à répondre aux besoins *pratiques* des écoles existantes de manière systématique et dans les délais prévus [1].

Que telle soit la tâche des planificateurs de l'éducation n'implique en aucune façon qu'ils aient pour mission absolue de veiller à protéger les écoles contre les catastrophes naturelles. Le planificateur qui décide des affectations de crédits en matière d'équipements doit envisager le coût des décisions qu'il prendra et les avantages qui résulteront des dépenses. Doit-on construire moins d'écoles consolidées et avoir, de ce fait, un effectif scolaire moindre, ou plus de simples écoles où l'on instruira davantage d'enfants? Le planificateur de l'éducation ne pourra déterminer la meilleure façon de mettre les moyens disponibles au service des objectifs visés — c'est-à-dire une politique en la matière — qu'après avoir fait l'analyse coût-bénéfice de ces différentes options, et des autres solutions qui s'offrent à lui.

Il faut dire que le surcoût imputable à la protection des écoles contre les catastrophes naturelles (de 2 à 10% du coût normal) devra être absorbé sur la période relative-

ment courte du plan, d'une durée de quatre à cinq ans. En revanche, les bénéfices s'étaleront sur une période égale à la durée escomptée du bâtiment, qui peut être de cinquante à soixante ans.

La question qui se pose alors est la suivante: «Quel est le risque qu'une catastrophe naturelle survienne au cours de cette période de cinquante à soixante ans?»

On peut calculer la probabilité qu'un phénomène générateur de désastre, tel qu'un séisme, un cyclone ou une inondation, se produise au cours de la période normale d'existence d'un bâtiment [2], et, à partir de là, déterminer les deux paramètres requis pour l'analyse coût-bénéfice, à savoir le coût de prévention des dégâts et des dégâts eux-mêmes.

Avec ces données, les planificateurs de l'éducation devraient être à même de choisir, entre diverses hypothèses de dépenses, l'investissement de nature à conduire au meilleur développement possible de l'éducation.

S'ils décidaient d'allouer des fonds à la construction de bâtiments scolaires aptes à résister aux catastrophes naturelles, la deuxième étape pour y parvenir serait la création d'un service technique chargé de la conception et de la construction des écoles.

L'équipe chargée de l'étude architecturale et technique

Dans les pays à risque la conception des plans des bâtiments scolaires relève d'organismes très divers. Ce genre de service compte généralement des architectes et des ingénieurs s'appuyant sur une importante équipe de métreurs et de dessinateurs, avec, à la base, un nombre encore plus élevé d'inspecteurs de travaux. Pour des raisons historiques, la majorité des organismes chargés des constructions scolaires sont dirigés, dans les pays asiatiques, par des ingénieurs, et en Amérique latine, où l'enseignement de l'architecture est depuis longtemps florissant, plutôt par des architectes.

Ces services ont tendance à se replier sur eux-mêmes, et même ceux qui sont rattachés au Ministère de l'éducation ont rarement plus de contacts avec les éducateurs que ceux qui appartiennent à d'autres ministères, comme le Ministère des travaux publics. C'est là un point important pour la suite qui sera donnée aux décisions prises par les planificateurs de l'éducation. Si, au cours de l'élaboration du plan, le planificateur a su faire passer ses idées, ceux qui en assureront la mise en œuvre, y compris bien entendu l'équipe chargée de l'étude architecturale et technique, en saisiront les intentions dans leurs moindres détails. En revanche, si ces concepteurs étaient totalement exclus des travaux de mise au point du plan, la chose

suivante pourrait se produire: dans l'hypothèse où des crédits plus importants que de coutume seraient alloués à la construction des écoles, ils serviraient sans doute à en améliorer la qualité, mais pas dans l'optique de leur protection contre les catastrophes naturelles; le planificateur, une fois sa tâche terminée, peut fort bien n'en jamais rien savoir, à moins qu'un cataclysme ne survienne. De telles situations ne devraient pas se produire, mais elles arrivent parfois et il est bon d'en être averti.

Si l'on admet que le plan destiné à équiper certaines zones du pays en écoles capables de résister aux catastrophes naturelles puisse être compris par ceux chargés de la conception et de la construction des bâtiments scolaires, comment vont-ils aborder le problème posé par la conception des édifices?

Une des méthodes employées à cet effet a été mentionnée dans le chapitre précédent. Le projet avait été confié à un dessinateur-projeteur qui ne savait pas que l'école devait être implantée dans une zone menacée et qui, de toute façon, n'était pas compétent pour concevoir un bâtiment sûr. Dans la plupart des pays, les choses sont un peu mieux organisées. Les services chargés des constructions sont divisés en deux unités composées l'une d'architectes, l'autre d'ingénieurs. Sur les indications des éducateurs, les architectes assureront la conception du bâtiment et choisiront les matériaux, les ingénieurs calculeront les dimensions et les autres détails techniques. Dans certains services, la dichotomie est vraiment très réelle et ne favorise pas la conception d'un bâtiment capable de résister efficacement aux catastrophes naturelles, laquelle exige plus, peut-être, que tout autre problème de conception scolaire, la collaboration la plus étroite entre les sciences de l'ingénieur et de l'architecte. La forme du bâtiment est essentielle si l'on veut que le bâtiment résiste à des poussées supplémentaires en cas de catastrophe naturelle. L'ingénieur, le plus souvent, connaîtra tout de la question; l'architecte peut-être pas. Le type de structure choisi est également capital.

Une bonne collaboration entre les architectes et les ingénieurs garantit presque automatiquement un produit de qualité. Quand, au contraire, le cloisonnement est strict et la collaboration quasi inexistante — comme c'est le cas dans un certain nombre de pays à risque — il serait opportun que les documents relatifs aux principes de conception qui pourraient être établis, soient rédigés de manière à familiariser les spécialistes d'une discipline avec les problèmes qui se posent aux autres disciplines et inversement.

Pour donner un bon exemple du type de difficulté qui pourrait surgir, voyons ce qui s'est produit récemment dans un pays à risque, en ce qui concerne la conception d'un modèle d'école primaire avec six niveaux d'ensei-

gnement. Il devait y avoir deux bâtiments, tous les deux rectangulaires et disposés parallèlement. Ils se trouvaient dans une zone sismique et le parti adopté était judicieux tant du point de vue architectural que technique. Puis la durée de l'enseignement primaire ayant été prolongée, il devint nécessaire d'envisager la construction de deux salles supplémentaires par établissement. Sans consulter quiconque, l'architecte relia les deux corps de bâtiment au moyen de deux salles supplémentaires, obtenant ainsi un plan en forme de U. Un tel plan est extrêmement dangereux en cas de séisme, comme l'explication que nous donnons des mouvements du terrain donné dans le troisième chapitre de cette étude le montre très clairement. Certaines écoles se sont déjà fissurées à la jonction des bâtiments principaux et des salles ajoutées, sous l'effet des légères secousses telluriques qui se produisent régulièrement dans le pays. Des consultations appropriées des ingénieurs du même service auraient certainement conduit à adopter un autre choix plus satisfaisant.

Bibliographie annotée

1. UNESCO REGIONAL OFFICE FOR EDUCATION IN ASIA. *Current issues in educational planning*. Bangkok, 1976. (Livre 2 du matériel de correspondance pour le troisième Group Training Course in Educational Planning.)
2. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Prévention et atténuation des catastrophes: Le point des connaissances actuelles*. Vol. 3: *Aspects sismologiques*, New York, Nations Unies, 1977.

Recherche et formation

Champ d'action

Dans ce court chapitre nous nous proposons d'étudier dans quelle mesure la conscience de leur vulnérabilité aux catastrophes naturelles conduit les pays à risque à créer des organismes de recherche. Les moyens mis en œuvre pour la formation de concepteurs sont d'une extrême importance pour la conception des bâtiments scolaires, c'est pourquoi nous avons décidé de parler ici de ce sujet. Enfin, nous décrirons, de manière encore plus générale, les qualifications du personnel requises pour les travaux de conception, de construction et d'inspection de travaux, et les moyens de formation dont ce personnel aurait besoin, compte tenu de ceux dont il dispose.

Ces brèves notes traitent du thème majeur de la présente étude: les programmes supplémentaires que pourrait entreprendre une organisation internationale comme l'Unesco, pour améliorer une situation qui, si l'on en juge par le nombre des catastrophes naturelles qui continuent à se produire chaque année, est encore loin d'être parfaite.

Recherche et séismes

En 1973, il y avait un total de vingt-huit pays disposant d'une réglementation relative aux constructions parasismiques [1]. Chacun de ces pays possède un ou plusieurs organismes d'étude des séismes [2], aux statuts très divers. Certains sont des établissements publics, comme aux États-Unis d'Amérique, le National Center for Earthquake Research du Geological Survey (Service de recherches géologiques). Cependant, les organismes de recherche sont souvent rattachés à des universités ou autres établissements à caractère universitaire. Dans l'ensemble, les recherches sont menées par des instituts spécialisés, comme l'Institut de géophysique de l'Université de Téhéran. Des départements universitaires d'enseignement se spécialisent aussi dans l'étude des séismes: c'est le cas du Département de géophysique et de géodésie de l'Univer-

sité du Chili et du Département de géologie dynamique de la Faculté de géologie de l'Université d'État de Moscou.

Certaines des institutions de ces vingt-huit pays se sont fait une renommée internationale soit par leurs propres travaux soit par leur participation à des programmes de recherche internationaux. On trouvera au tableau 5 quelques statistiques sur ces organismes.

Ce tableau appelle deux commentaires. Tout d'abord, l'établissement d'une réglementation des constructions parasismiques et la création d'un institut de recherche sur les séismes ne constituent pas, bien entendu, une garantie contre les catastrophes naturelles. (L'Algérie, la Grèce, l'Inde, la République islamique d'Iran, l'Italie, le Pérou et la Yougoslavie, tous pays recensés sur le tableau, ont connu des cataclysmes importants depuis l'adoption d'une réglementation en matière de constructions parasismiques et la création d'instituts de recherche.) Dans la plupart des cas, les pertes en vies humaines et les dégâts matériels sont dus à l'effondrement de bâtiments anciens n'ayant pas bénéficié de la nouvelle réglementation.

En second lieu, les travaux des établissements de recherche ne portent pas nécessairement sur des questions ayant un rapport direct avec la conception des bâtiments. Nombre d'entre eux consistent en des recherches fondamentales sur les phénomènes sismiques. Les aspects techniques de la conception parasismique sont plus simples à aborder que, par exemple, la mise au point de techniques de mesure de la profondeur du foyer plus précises. Ce sont principalement — mais pas exclusivement — les départements de génie civil des universités qui accomplissent l'essentiel des recherches dans le domaine qui nous intéresse ici.

De nombreux autres pays menacés comptent eux aussi des institutions sismologiques et de génie parasismique. Il existe par exemple au Pakistan un observatoire de géophysique qui comprend une section de sismologie, et à l'Université des Indes occidentales une unité de recherche sismique. Notons également que plusieurs pays faiblement menacés, ou totalement à l'abri du risque sismique, possèdent aussi des organismes de recherches sismiques

Tableau 5. Pays ayant une réglementation des constructions parasismiques et des institutions sismologiques

Pays	Institutions					Total
	Établissements publics	Instituts	Départements d'enseignement	Instituts de renommée internationale	Divers	
Algérie		1				1
Allemagne, République fédérale d'	4	5				9
Argentine	2	1				3
Autriche	1					1
Bulgarie	3		1			4
Canada	2		7			9
Chili			2			2
Cuba	1					1
El Salvador	1					1
Espagne	3					3
États-Unis d'Amérique	5	2	12	1	8	28
France	4	2		2		8
Grèce	1		1			2
Inde	4		1			5
Iran	1	1				2
Israël		1	2			3
Italie		3		2		5
Japon	6	3				9
Mexique		2		1		3
Nouvelle-Zélande	3		1			4
Pérou	1	2		1		4
Philippines	2					2
Portugal	1					1
Roumanie	2					2
Turquie	4	1	1			6
URSS	3	15	2	1		21
Venezuela	2					2
Yougoslavie	3	1				4
Totaux	59	40	30	8	8	145

de qualité. C'est le cas du Département sismique de l'Institut de géodésie du Danemark, du Centre sismologique international en Écosse, de l'Imperial College de l'Université de Londres et de l'Institut sismologique de l'Université d'Uppsala en Suède. Ces pays ont généralement de bonnes raisons — techniques ou historiques — de s'intéresser aux séismes.

En conclusion, on peut estimer le nombre des institutions spécialisées dans les études sismiques de par le monde à environ 150, dont certaines consacrent une partie de leurs travaux au génie sismique. Les écoles — on l'a dit — ne présentent pas de problème de conception spécifique: aussi n'est-il pas surprenant qu'aucun établissement de recherche ne s'y intéresse exclusivement. Ainsi, en 1975, lors d'une réunion du United States - Japan Cooperative Research Programme in Earthquake

Engineering sur le thème «Sécurité des bâtiments scolaires», un seul des dix-neuf rapports de recherche examinés se rapportait directement aux écoles, les autres ayant trait à des bâtiments similaires. La principale étude concernant l'école et les séismes reste donc celle d'Arya *et al.* [3].

Recherche en matière de cyclones tropicaux

Les règlements concernant la résistance au vent sont beaucoup plus nombreux dans le monde que les règlements parasismiques [4]. On pourrait même dire que l'obligation pour le concepteur de tenir compte du vent est inscrite dans presque tous les codes de la construction en vigueur. Pour ce qui est de la recherche, un certain nombre de points diffèrent selon qu'il s'agit de l'un ou de l'autre phénomène. Le premier est que la majorité des travaux sur le vent sont menés dans des pays qui, normalement, subissent tous les ans des vents violents. Ces pays se trouvent principalement sous les hautes latitudes; ce sont, par exemple, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, les États-Unis d'Amérique, le Canada, l'URSS et les États du sud de l'Amérique latine. Dans ces pays, non seulement la résistance au vent représente une matière importante inscrite au programme des études d'ingénieur, mais en outre, la plupart des laboratoires sont bien équipés en tunnels aérodynamiques et autres matériels qui autorisent un enseignement de qualité et constituent un excellent soutien pour la recherche.

La caractéristique des cyclones tropicaux est qu'ils se produisent rarement. Les chercheurs s'y intéressent donc moins qu'aux vents des hautes latitudes qui reviennent tous les ans.

Certes, les caractéristiques physiques des vents de basses et hautes latitudes sont identiques. Quel que soit l'endroit où il souffle, le vent exerce des poussées et toute recherche à son propos, où qu'elle s'accomplisse, donnera des résultats applicables partout ailleurs. Le problème est que, dans les pays de hautes latitudes, les gens sont habitués aux vents violents et font en sorte que les éléments composant les bâtiments soient assez solidement attachés pour résister au vent. Sous les basses latitudes, les vents de cette violence sont rares et, de ce fait, les techniques élaborées en ce domaine ne sont pas aussi au point.

Ce qui est le plus dangereux dans les cyclones, et qui est responsable du plus grand nombre de morts, c'est l'onde de tempête provoquée par le vent. Or, protéger les bâtiments de cette onde de tempête grâce à une conception particulière en matière de construction n'a pour ainsi dire jamais été envisagé.

De par le monde, deux sortes d'organismes s'intéressent tout particulièrement aux cyclones tropicaux. Ce sont, d'abord, les services météorologiques nationaux qui existent dans presque tous les pays et publient un rapport statistique annuel, généralement assez complet, sur les vents de l'année précédente. Ensuite, il y a l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Les cyclones, en tant que phénomènes météorologiques, sont donc bien étudiés [5].

On remarquera qu'on étudie de manière moins systématique les cyclones que les séismes, à savoir: le phénomène lui-même, ses manifestations, la formation universitaire spécifique requise pour l'étude des cyclones, la recherche, l'adoption et la mise en œuvre, en matière de construction, de règlements anticyclones. S'agissant des cyclones, l'effort reste ponctuel. Aucune institution internationale ne s'occupe spécialement de l'ensemble des problèmes posés par les cyclones et, alors que les séismes ont fait l'objet de plusieurs conférences mondiales, les cyclones tropicaux n'ont jamais, comme tels, fait l'objet d'une conférence mondiale; seuls quelques colloques régionaux leur ont été consacrés [6,7].

C'est peut-être la raison pour laquelle l'UNDRO [8] a établi une liste des sujets qui mériteraient des recherches plus approfondies. Ces thèmes sont les suivants: *a*) prévisions des mouvements des cyclones tropicaux et changements d'intensité; *b*) ondes de tempête, spécialement dans les cas où les effets sont les plus prononcés, par exemple dans des golfes semifermeés ou d'autres portions de littoral à courbure accentuée; et *c*) prévisions quantitatives des précipitations et autres facteurs hydro-météorologiques ayant une incidence sur les crues des rivières.

Disposer de ces données et d'analyses à leur propos serait sans aucun doute très profitable, mais ne nous aiderait en rien à résoudre le problème que nous considérons essentiel et qui est de savoir quelle doit être l'architecture d'un bâtiment rural dans une zone menacée par les ondes de tempête. En revanche, la coupure entre météorologues et concepteurs dans les zones soumises à de violents cyclones tropicaux est, de ce fait, bien mise en évidence.

Recherche et inondations

A certains égards, la recherche sur les inondations ressemble à celle sur les cyclones. Les travaux, aussi bien nationaux qu'internationaux, sur les inondations et leurs estimations sont nombreux, mais les ouvrages ou articles spécialisés concernant la conception de bâtiments aptes à résister aux inondations sont très rares. A la différence des cyclones, dans l'ensemble, les inondations se produi-

sent en des endroits bien précis et se prêtent à une évaluation pratiquement annuelle. Quelques pays, où les inondations sont un problème majeur, compte tenu des risques qu'elles font courir aux personnes et à l'économie, ont créé des organismes généralement rattachés aux universités, pour étudier ces phénomènes. L'Université de Delft, par exemple, aux Pays-Bas, en étudie les aspects physiques; l'Institut polytechnique du Middlesex au Royaume-Uni poursuit un projet de recherche sur les risques d'inondations; le Département de géographie de l'Université de Toronto a des programmes qui sont consacrés aux inondations. Parmi les organisations internationales, l'Unesco et l'OMM déploient une intense activité dans ce domaine.

Les inondations restent cependant, d'abord, un problème d'intérêt local. Certains arguant du fait que les inondations se produisent généralement dans les mêmes zones, elles n'ont pas un caractère inévitable et ne peuvent donc être considérées comme entrant dans la catégorie des catastrophes naturelles.

Formation

La conception de bâtiments aptes à résister aux effets des catastrophes naturelles est du ressort des architectes et des ingénieurs. La protection des bâtiments contre les catastrophes naturelles n'est, semble-t-il, dans aucun établissement formant des architectes, une matière qui soit étudiée spécifiquement. Dans certains pays comme les Pays-Bas, il peut arriver que des cours sur le sujet soient organisés de manière ponctuelle, mais, apparemment, il n'existe pas de cours réguliers destinés aux futurs architectes sur la manière de prévenir tel ou tel cas particulier de catastrophe naturelle.

Dans plusieurs pays, les études universitaires d'architecture comprennent des enseignements relatifs au type de catastrophe naturelle auquel le pays est sujet. Par exemple, l'École d'architecture de l'Université de Mexico propose un cours de qualité sur la conception des constructions parasismiques.

Sur ce point, les ingénieurs sont moins désavantagés. Le programme de nombreuses facultés des sciences de l'ingénieur de l'université comprend des cours sur les catastrophes naturelles, et quelques universités, nous l'avons dit plus haut, sont spécialisées dans certaines disciplines, comme le génie parasismique. L'École de recherche et de formation en génie parasismique de l'Université de Roorkee (Inde) en est un exemple. Il existe, de plus, des institutions internationales d'étude de ces phénomènes, en Yougoslavie notamment.

Les moyens pédagogiques disponibles en ce domaine

restent cependant insuffisants. Cela montre bien la fréquence des recommandations faites lors des réunions internationales, sur la nécessité de traiter davantage de la prévention des catastrophes naturelles dans les cours de génie civil.

Personnel

Dans la construction des bâtiments scolaires aptes à résister aux catastrophes naturelles interviennent des concepteurs (architectes et ingénieurs civils), des dessinateurs, des constructeurs et des inspecteurs de travaux. Qu'un seul de ces spécialistes soit inapte à la tâche qui lui est confiée, et il est à parier qu'aussi bien que les autres travaillent, le bâtiment résistera assez mal en cas de cataclysme.

Quand formation il y a, elle s'adresse bien entendu aux ingénieurs et aux architectes de métier. C'est déjà une bonne chose, mais cela suppose que le produit fini correspond immanquablement au projet initial. Or il suffit d'un contrôle insuffisant du travail du dessinateur, d'un non-respect des plans et des spécifications du devis par le constructeur ou d'une méconnaissance de la part de l'inspecteur de travaux des détails à surveiller particulièrement, pour que le bâtiment reste fragile.

Pour remédier à cela, il faut donc former tous les spécialistes à remplir efficacement la tâche qui leur incombe.

Des moyens pris au service de la formation des ingénieurs existent, mais ils sont encore insuffisants si l'on en croit les nombreuses recommandations à ce sujet. En revanche, pratiquement rien n'est prévu pour assurer la formation des spécialistes: architectes, dessinateurs, constructeurs, inspecteurs de travaux. Le rapport recherche-formation-action des spécialistes reste très insuffisant.

Bibliographie annotée

1. INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR EARTHQUAKE ENGINEERING. *Earthquake resistant regulations: A world survey*. Tokyo, Association for Science Documents Informations, 1973.
2. ——. *International directory of universities and institutions engaged in earthquake engineering research*. Tokyo, The Association, 1973.
3. ARYA, A.S. et al. *Influence of natural disasters (earthquakes) on educational facilities. Final report of a study*. Roorkee, School of Research and Training in Earthquake Engineering, University of Roorkee, 1977. (Voir «Bibliographie annotée», note 7, page 21.)
4. Japanese Organizing Committee of the Third International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures and Committee on Wind Loading, Society of Steel Construction. *Wind resistant design regulations: A world list*. Tokyo, the Committee, 1975.

5. AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. *Monthly weather review*.
6. ANON. *Proceedings of a regional tropical cyclone seminar*. Brisbane, Bureau of Meteorology, 1973.
7. COMMISSION NATIONALE JAPONAISE POUR L'UNESCO, avec le concours du Comité d'organisation du Colloque de l'Unesco sur les typhons. *Proceedings of the Unesco symposium on typhoons*. Tokyo, the Commission, 1955.
8. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. *Prévention et atténuation des catastrophes. Le point des connaissances actuelles*. Vol. 4: *Aspects météorologiques*. New York, Nations Unies, 1978. (Voir «Bibliographie annotée», note 3, page 21.)

Publications relatives à la protection architecturale des bâtiments contre les catastrophes naturelles

Sources

Les bibliographies concernant la conception et la mise en œuvre de bâtiments aptes à résister aux catastrophes naturelles couvrent des centaines de pages imprimées de manière serrée. Aussi ne peut-on guère ici que recenser les grandes catégories de sources bibliographiques utiles. Nous citerons au passage un ou deux ouvrages appartenant à chacune des catégories, mais il va de soi que notre objectif n'est que de donner des exemples et que quantité d'autres travaux similaires, tout aussi intéressants, auraient pu aussi bien être mentionnés.

Rapports internationaux spécialisés

Depuis quelques années, les gouvernements des pays frappés par une catastrophe naturelle ont pris l'habitude de demander à l'Unesco d'établir un rapport qui, outre l'examen des aspects matériels et autres du phénomène, comporterait une recommandation quant à la conduite à tenir en cas de désastre. Cela aiderait le gouvernement des pays concernés à décider des mesures à prendre pour réparer les dégâts ou du type d'assistance à demander à des sources extérieures.

Plusieurs de ces rapports ont déjà été mentionnés dans cette étude (voir p. 21, 39 et 64). La plupart traitent des catastrophes naturelles d'origine sismique; plusieurs, cependant, font référence à des désastres causés par des cyclones ou des inondations. Presque tous sont abondamment illustrés et proposent des graphiques et des cartes expliquant les causes physiques de l'événement ainsi que des photographies des dégâts subis.

Le grand intérêt de ces rapports est qu'ils rendent compte de l'aptitude qu'ont les bâtiments ruraux à résister ou non lorsque survient une catastrophe naturelle; en outre, il n'est pas rare que certains de ces rapports contiennent un chapitre sur les écoles urbaines et rurales. Nous mentionnerons tout particulièrement les rapports qui expliquent les causes des dégâts produits à l'aide de

croquis. Le rapport de Brisman (voir «Bibliographie annotée», note 4, p. 21) sur les écoles endommagées par les inondations dans la province de Gezireh, au Soudan, est particulièrement remarquable en ce qu'il montre en quoi très précisément le bâtiment était inapte et ouvre ainsi la voie à la mise au point d'autres solutions plus satisfaisantes.

Il arrive fréquemment que l'Organisation des Nations Unies aide les gouvernements à définir les programmes de construction à mener après une catastrophe naturelle. Elle a ainsi établi un rapport sur Skopje [1], extrêmement précieux pour les autorités nationales, et qui constitue un modèle intéressant pour ceux qui élaborent des documents destinés aux concepteurs ou construisent et réparent des bâtiments dans les zones à risque sismique.

Rapports nationaux spécialisés

De nombreux et intéressants rapports sur les catastrophes naturelles sont préparés au niveau national. Certains, qui sont le fait d'organismes nationaux [2], comme le rapport établi par le gouvernement australien sur l'ouragan Tracy, sont exemplaires. En effet, ces rapports présentent l'avantage d'expliquer très clairement ce qui s'est passé et de laisser peu de doute au lecteur sur l'action à mener pour éviter que de telles catastrophes se reproduisent.

Il arrive parfois que des rapports analogues soient aussi rédigés par des instituts de recherche nationaux ou des universités nationales. Les typhons qui s'abattirent sur les Philippines en 1970 et 1971, par exemple, ont été décrits et analysés par le Philippines National Disaster Control Center et les inondations de 1974 à Brisbane, Australie, par le Département d'architecture de l'Université de Queensland.

Réunions internationales

Les conférences, colloques, ateliers, etc., internationaux sont une occasion pour présenter des communications

scientifiques sur les causes des catastrophes naturelles et sur les nouvelles techniques de conception mises au point pour s'en protéger. Ces réunions offrent aux ressortissants des pays touchés par une catastrophe naturelle une excellente tribune pour témoigner sur l'événement.

Plusieurs de ces réunions internationales reviennent à intervalles fixes et, grâce aux Actes de séance qui sont rédigés, on dispose en permanence de renseignements à jour sur les progrès scientifiques et les cataclysmes les plus récents. Voici quelques-unes de ces réunions.

Séismes

Conférences mondiales de génie parasismique. Elles se tiennent depuis 1956, tous les quatre ans environ. Les Actes de chaque conférence, qui sont publiés, contiennent non seulement des rapports sur les catastrophes naturelles qui se sont produites, mais également des communications à caractère concret sur la construction. Ainsi, les Actes de la Conférence mondiale contiennent deux communications aux titres révélateurs, respectivement «The Caracas earthquake of July 29, 1967 [Le séisme de Caracas du 29 juillet 1967] [3] et «Restoration of stone buildings after earthquake» [La restauration des bâtiments de pierre après un séisme] [4]. On trouve parfois dans les Actes des communications sur les bâtiments scolaires: «Reasons for the earthquake damage to the new high school building in Burdur, Turkey» [Les raisons des dégâts occasionnés par un séisme aux bâtiments de la nouvelle école secondaire de Burdur, en Turquie] en est un exemple [5].

Les colloques européens. Ils ont lieu approximativement tous les trois ans. Comme lors des conférences mondiales, les participants y examinent, parmi d'autres questions, des rapports qui ont été rédigés sur des séismes ne s'étant pas nécessairement produits en Europe. Par exemple, les Actes du cinquième colloque contiennent des communications sur des séismes survenus au Pérou et à Managua.

Les séminaires du CENTO (Central Treaty Organization/ Organisation du traité central). Deux séminaires ont été organisés, l'un en 1968, l'autre en 1977. De nombreuses communications présentent un intérêt réel pour les concepteurs d'écoles rurales, par exemple celle intitulée «Earthquake problems of small buildings and dwellings in Iran» [Problèmes sismiques des édifices et habitations de petites dimensions en Iran] [6]. Cette communication examine non seulement les dégâts occasionnés aux petits bâtiments ruraux, mais contient également des suggestions pour leur reconstruction.

Cyclones tropicaux

A ce jour, il n'y a pas eu de réunions internationales sur les constructions dans les parties du monde menacées par les cyclones tropicaux qui se soient tenues régulièrement. Cette question a été évoquée lors d'un certain nombre de réunions et de colloques régionaux. Signalons notamment le Colloque de l'Unesco sur les typhons qui s'est tenu au Japon en 1954. Ce colloque avait pour thème principal la structure, la formation et le mouvement des typhons, mais quelques communications, dont plusieurs d'un niveau théorique élevé ont porté sur la prévention des dégâts. A l'occasion d'un séminaire régional sur les cyclones tropicaux qui a eu lieu en Australie en 1973, des documents intéressants sur les dégâts subis par les bâtiments ont aussi été présentés.

Tsunamis

Le groupe international de coordination pour le Système d'alerte aux tsunamis de la Commission océanographique intergouvernementale se réunit régulièrement. Les rapports présentés à cette occasion concernent essentiellement la naissance et la propagation des tsunamis, les zones touchées, ainsi que des questions de météorologie. Le problème des constructions n'est généralement pas évoqué.

Actes des réunions nationales

Les Actes des réunions nationales sur les catastrophes naturelles constituent une source de connaissances particulièrement riche. Dans l'ensemble, les documents traitent soit des désastres provoqués par un phénomène précis, soit des catastrophes naturelles en général. L'Unesco compte un grand nombre d'États membres; il ne peut donc être question de dresser la liste de toutes ces réunions dans cette brève étude. Citons-en seulement trois qui peuvent être considérées comme caractéristiques.

Séismes

Des colloques sur le génie parasismique se tiennent tous les quatre ans, environ depuis 1959, à l'Université de Roorkee en Inde. Nombre des communications présentées ont eu pour thème des questions d'ordre théorique, mais beaucoup aussi ont traité de sujets intéressants directement les concepteurs de bâtiments scolaires.

Le séminaire international sur le génie parasismique qui a eu lieu en Yougoslavie en 1964 portait, en dépit de son titre, essentiellement sur le tremblement de terre de

Skopje. A cette occasion d'intéressantes précisions sur les dégâts subis par les structures en béton ont été données.

La Conférence sur le séisme de Managua, Nicaragua, de 1972 a été riche d'enseignements sur la résistance des écoles lors d'un séisme en Amérique latine.

Cyclones

Les documents produits pour un cours d'été qui a eu lieu en 1972 à l'Université James Cook, au nord du Queensland, sont passionnants. En effet, ils traitent en détail des problèmes inhérents à la conception des édifices, en particulier des bâtiments de petites dimensions dans les zones menacées par les cyclones.

Publications d'organismes scientifiques et professionnels

Les périodiques traitant des catastrophes naturelles sont nombreux mais aucun n'est consacré exclusivement aux constructions. Voici quelques-uns des titres les plus souvent cités dans les bibliographies: *Bulletin of the Seismological Society of America*, *Bulletin of the Earthquake Research Institute (Université de Tokyo, Japon)*, *Bulletin of the Indian Society of Earthquake Technology*, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* et *Bulletin of the International Institution of Seismology and Earthquake Engineering*.

Il ne semble pas exister de société ou d'organisme professionnel spécialisé dans les constructions anticyclones.

Autres publications

D'autres publications sont précieuses pour le concepteur de bâtiments scolaires. Elles peuvent être groupées en six catégories:

1. Les rapports d'institutions nationales des universités ou établissements d'enseignement similaires: par exemple, les publications de l'Université de Bradford sur l'évaluation des ouragans et celles de l'Institut polytechnique du Middlesex, dans le cadre de son projet de recherches sur les risques d'inondations, contiennent des informations utiles.

2. Les publications des centres de recherche du bâtiment comportent souvent des articles sur l'architecture et la construction d'édifices dans les zones menacées par les catastrophes naturelles. On mentionnera, en particulier, les travaux du Central Building Research Institute (Inde),

du Building Research Establishment (Royaume-Uni) et de la Réunion internationale des laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux et les constructions (France).

3. Un certain nombre d'organismes nationaux et internationaux ont publié des manuels à l'usage des concepteurs de bâtiments aptes à résister aux catastrophes naturelles. L'Organisation des Nations Unies a publié une série de documents très utiles sous le titre général de «Principes directeurs pour la prévention des catastrophes» dont le volume 2, *Mesures en matière de construction visant à limiter les effets des catastrophes*, fournit des indications simples que le concepteur d'un bâtiment de petites dimensions, comme une école rurale, pourrait utiliser avec profit. L'Unesco a publié un rapport sur les bâtiments éducatifs intitulé *Cyclone-resistant rural primary school construction: A design guide*.

4. Les bibliographies, qu'elles soient publiées séparément ou qu'elles fassent partie de l'un des divers documents mentionnés dans ce chapitre, sont précieuses à de nombreux égards. Un certain nombre d'entre elles [7, 8, 9, 10, 11] couvrent tout un éventail de questions, allant des plus théoriques aux plus pratiques, concernant les catastrophes naturelles.

5. Les livres sont une autre source d'informations: il en est beaucoup sur le génie parasismique et le vent, peu sur les cyclones. La plupart sont des œuvres de référence utiles car l'auteur, outre qu'il rend compte de ses recherches, apporte souvent diverses informations glanées au fil des lectures, des conférences et séminaires, et d'autres matériels comme ceux que nous avons évoqués dans ce chapitre.

6. Dernière catégorie de publications: les périodiques non rattachés directement à des organismes scientifiques ou professionnels, les revues universitaires de caractère général par exemple. Ils comportent fréquemment des articles qui sont intéressants par eux-mêmes, ou utiles en ce qu'ils résument et analysent les comptes rendus de réunions.

Quelques conclusions

En conclusion, nous remarquerons tout d'abord que, alors qu'il existe une grande quantité de données sur le génie parasismique et sur l'élément vent des cyclones, les renseignements pouvant aider le concepteur à dessiner des bâtiments anticyclones restent rares.

Deuxièmement, si quelques livres rassemblent certai-

nes des informations données lors de recontres et de séminaires, les données utiles restent, pour l'essentiel, dispersées dans les comptes rendus de douzaines de conférences et de centaines de rapports, de documents de recherche sur la construction et d'articles périodiques.

Troisièmement, malgré les réseaux scientifiques désormais établis dans diverses régions, le projecteur moyen n'a aucun espoir réel d'accéder aux informations dont nous venons de parler. Beaucoup de documents sont épuisés ou hors de prix. Rares sont du reste les services de conception de bâtiments scolaires disposant d'un budget pour l'achat de livres.

Enfin, la plupart des publications étant en anglais, les concepteurs de pays menacés n'y ont pas accès.

Bibliographie annotée

1. MORAN, R.W. ; LONG, W.B. *Report of a United Nations mission to Skopje to advise on the strengthening of building damaged by the earthquake of 1963*. United Nations Programme of Technical Assistance, Department of Economic and Social Affairs, janvier 1964.
Définit des catégories de dommages subis et propose quatre types de réparations et de renforcements. Formule des recommandations en quatre points sur les travaux de reconstruction à entreprendre en priorité. Propose un modèle d'analyse pour évaluer la solidité des bâtiments et fournit des informations sur les coûts des réparations et des constructions neuves.
2. WALKER, G.R. *Report on cyclone Tracy and effect on buildings. December 1974*. (Canberra), Department of Housing and Construction, mars 1975. 3 vol.
Décrit les phénomènes associés à la catastrophe et propose un projet de code de la construction destiné à prévenir le retour d'un tel désastre.
3. VENEZUELAN OFFICIAL SEISMIC COMMISSION. The Caracas earthquake of July 29, 1967. *Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Chile, 1969*. Vol III, p. J-2-74 à J-2-89.
4. RASSKOZOVSKY, V.T. ; ABDURASHIDOC, K.S. Restoration of stone buildings after Earthquake. *Proceedings of the Fourth World Conference on earthquake Engineering, Chile, 1969*. Vol. III, p. B-6-82 à B-6-91.
5. TEZCAN, S.S. ; IPEK, M. ; ACAR, S. Reasons for the earthquake damage to the new high school buildings in Burdur, Turkey. *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, 1973*, p. 539-542.
6. THE IRANIAN MISSION. Earthquake problems of small buildings and dwellings in Iran. *Proceedings of the CENTO Seminar on Earthquake hazard Immunisation, Ankara, 1968*.
7. SINNAMON, I.E. Natural disasters and education building design: An introductory review and annotated bibliography for the Asian region. *Educational building report 4*. Bangkok, Unesco, 1976.
8. MANNING, D.H. *Disaster technology. An annotated bibliography*, Oxford, Pergamon Press, 1976. (Voit «Bibliographie annotée» note 4, p. 21.)
9. COCHRANE, A. A selected annotated bibliography on natural hazards. *Natural hazards workings paper*, n° 22. University of Toronto, 1972.
10. AMBRASEYS, N.M. *Earthquake engineering reference index*. Londres, Cementation Company, 1963.
11. UNION INTERNATIONALE DES ARCHITECTES. *Natural disaster: Selective list of publications in English*. Paris, UIA, 1971.

S'équiper en écoles protégées contre les catastrophes naturelles: diagnostic des problèmes

Champ d'action

On trouvera dans le présent chapitre, où l'on s'efforce d'aboutir à quelques conclusions, une récapitulation des problèmes identifiés dans la deuxième partie de cette étude. Édifier, à l'intention d'une population urbaine ou rurale, une école protégée contre les catastrophes naturelles est une opération qui relève davantage des gestionnaires que des architectes ou des ingénieurs.

Si nous évoquons les problèmes de gestion, c'est que la réalisation de l'objectif visé, en l'occurrence la conception et la construction d'écoles protégées, implique une transformation des comportements humains, c'est-à-dire un processus qui est plus social que technique. Quels sont les éléments de ce processus?

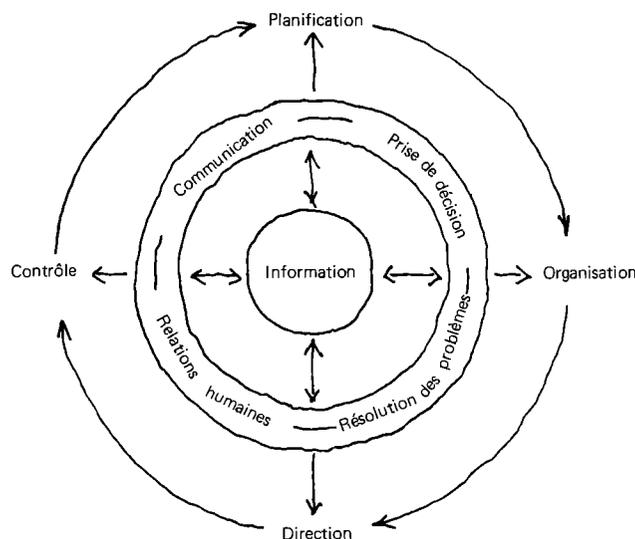


FIG. 24. Les éléments de la gestion.

Le schéma de la figure 24, qui vaut, de manière générale, pour toute action de gestion, nous semble l'être tout particulièrement pour ce qui nous occupe.

Information

Le problème majeur est de disposer de l'information requise pour fonder l'action. Dans ce cas particulier, on entend par «information» plutôt un choix de données que l'ensemble de celles-ci. L'idée qui revient sans cesse dans les chapitres de la deuxième partie de notre étude est qu'il y a pléthore de données, qui n'ont pas été suffisamment triées et classées pour fournir l'information requise pour l'action.

C'est ce manque fondamental d'informations suffisamment précises qui explique les deux attitudes qui dominent chez les intéressés: premièrement, ils se demandent s'il est prioritaire de construire des écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles ou plus d'écoles de manière à accueillir le plus d'enfants possible; et deuxièmement, ils sont préoccupés par le coût de ces écoles. En outre, les types d'action envisagés à l'échelon gouvernemental ou local laissent à penser que la construction de bâtiments très vulnérables est imputable à l'absence d'uniformité dans l'action.

Bien qu'il en soit parfois question dans des rapports de conférence ou autres documents, l'idée qu'une école puisse être conçue, dès le départ, non seulement comme un lieu d'enseignement mais aussi comme un refuge pour la population, paraîtrait pour le moins étrange à quantité d'administrateurs qui ne savent rien des tenants et des aboutissants d'une telle proposition. Est-il possible de loger la population entière d'un village dans l'école primaire? Le chapitre sur «La reconnaissance du risque et les constructions scolaires», appuyé par l'expérience du Bangladesh, indique que la réponse est oui. Qu'advient-il lorsque des sinistrés sont logés dans une école? L'étude de Vargas Mara sur le cyclone dominicain montre que les sinistrés ont occasionné de lourds dégâts tant aux bâtiments qu'au mobilier.

Il appartient donc aux planificateurs de l'éducation de peser le pour (les avantages) et le contre (le coût) de la construction d'écoles capables de résister aux catastrophes naturelles. Par l'enseignement à distance ou d'autres

systèmes de formation les planificateurs sont formés à l'analyse coût-bénéfice; mais, jusqu'à ce jour, cette analyse n'a guère été utilisée en ce qui concerne les catastrophes naturelles, en grande partie parce que les planificateurs ne reçoivent pas de données à ce sujet.

L'impasse dans laquelle se trouve quelqu'un qui souhaite s'informer n'est peut-être jamais aussi totale que lorsqu'il entreprend de consulter les textes imprimés. La plus grande partie de l'immense quantité d'informations utiles est dispersée dans des centaines de rapports de conférence et autres documents qui ont été publiés au cours des trente dernières années environ. Très rares sont les informations autres que brutes qui pourraient servir aux décideurs, aux planificateurs de l'éducation pour analyser les coûts et les bénéfices, aux concepteurs pour créer et évaluer le prix de nouvelles écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles, et aux formateurs d'inspecteurs de travaux pour améliorer la qualité du processus de construction.

Aussi faut-il s'attacher en tout premier lieu à offrir aux intéressés toute une série d'informations de références, spécialement adaptée à leurs besoins spécifiques.

Les décideurs

Le point de départ des actions menées à l'échelon gouvernemental ou local, qui aboutit à la construction d'une école apte à résister aux catastrophes naturelles est toujours — nos modèles le montrent — une décision. L'analyse de la manière dont les choses se passent au niveau de l'État, telle que proposée par Wolfenstein (voir p. 49 de la présente étude) ne vaut que pour un contexte culturel particulier. Si cette analyse était valable partout, la phase critique au niveau de l'action serait le moment où le gouvernement «justifie et estime le risque». C'est là le seul point de la chaîne théorique de réflexion collective, telle que la définit Wolfenstein, où l'objectivité est considérée comme primordiale.

Mais le risque est un concept mathématique — une mesure de la probabilité — qui se calcule avec plus ou moins d'exactitude. En termes plus simples, nous dirons que le risque est la probabilité avec laquelle un événement surviendra dans un certain laps de temps. Par exemple, on peut dire qu'un cyclone destructeur ou un séisme se produira, vraisemblablement, au moins une fois au cours des dix ou cinquante prochaines années.

Les ouvrages (voir, par exemple [1]) sur l'évaluation du risque, écrits par des techniciens pour des techniciens, sont fort nombreux. Il n'en va pas de même, malheureusement, des ouvrages destinés aux décideurs, généralement au pouvoir ou proches de lui.

La Conférence intergouvernementale sur l'évaluation et la diminution des risques sismiques qui s'est tenue à l'Unesco en 1976 [2], a recommandé (Résolution 10.03) d'étudier les distributions de probabilités des dégâts (dans ce cas, consécutifs à des tremblements de terre), et d'exploiter les résultats de cette étude pour décider des mesures à prendre en vue de limiter les risques (sismiques).

Une telle étude nécessiterait, comme la Conférence l'a reconnu, un effort soutenu de la part de géophysiciens, d'ingénieurs, d'économistes et de sociologues de plusieurs pays. Arya et ses collaborateurs [3] vont plus loin et proposent les moyens d'organiser et de coordonner cet effort à l'aide d'ateliers régionaux et nationaux.

Les conséquences seraient capitales car, contrairement aux travaux accomplis jusqu'à présent, et dont la plupart ne sont utilisables que pour la prise de décisions, l'étude envisagée devrait fournir des éléments pour la prise de décisions au niveau politique, au niveau du gouvernement ou des grands commis de l'État. Peut-être serait-il positif de se préoccuper au premier chef, comme dans le cas de la présente étude, de la prise de décisions en matière de constructions scolaires. Une chose est de décider quelles mesures prendre pour l'ensemble des constructions d'un pays, une autre est de considérer les édifices selon la catégorie à laquelle ils appartiennent à la fois en temps normal et en cas de catastrophe naturelle.

Les précieux résultats de l'étude recommandée par la conférence intergouvernementale seraient donc plus fructueux s'ils étaient applicables au cas *particulier* des constructions scolaires, et s'ils donnaient lieu à l'élaboration de documents spécialement destinés aux responsables des politiques de l'éducation. (Il est admis cependant que tous renseignements sur les risques seraient utiles aux membres du gouvernement dans leur diversité.)

En possession d'une telle documentation — qui expliquerait, en langage clair et pas trop technique, les risques encourus par les écoles en cas de catastrophe naturelle — le responsable des politiques de l'éducation serait peut-être tenté d'examiner la possibilité de construire des bâtiments renforcés, compte tenu des ressources financières et techniques disponibles.

Il appartiendrait aux services de planification de l'éducation et de construction de fournir à ce responsable les informations nécessaires à sa prise de décision.

Coût des investissements

C'est au planificateur de l'éducation qu'il revient, en s'appuyant solidement sur les données relatives au coût

que lui fournit le service des bâtiments scolaires, de débroussailler en premier les problèmes de gestion.

On sait qu'un bâtiment conçu pour résister aux catastrophes naturelles coûte de 2 à 10% plus cher qu'un bâtiment ordinaire. On ne dispose d'aucune estimation générale de ce qu'il en coûte pour renforcer les bâtiments déjà existants.

L'information n'est donc pas particulièrement utile: d'une part, parce que les écoles appartiennent à une certaine catégorie de bâtiment; d'autre part, parce que dans beaucoup de pays, il existe des différences importantes entre constructions rurales et constructions urbaines, tant sur le plan de la conception, de la mise en œuvre, que du coût par utilisateur.

Il est cependant tout à fait concevable que le réaménagement des écoles urbaines, en particulier à des fins de prévention des catastrophes sismiques, puisse être réalisé à un coût qui soit, par élève, identique, voire inférieur au coût actuel.

Par exemple, pour réaménager en bâtiment parasismique — avec 20% d'espaces réservés aux déplacements, des salles de classe utilisées à 75% et 3,50 m² de surface par utilisateur — une école secondaire dont 30% de l'espace seraient consacrés aux déplacements, dont les salles de classe seraient employées à environ 50%, et qui serait conçue pour que chacun dispose en tout d'une surface de 4,50 m², l'investissement serait, par utilisateur, certainement inférieur à celui de la construction du bâtiment initial.

En résumé, en matière de coût, il faut éviter les généralisations et faire des recherches minutieuses sur l'architecture et le coût global des édifices pris dans leur spécificité: les écoles, par exemple.

Des documents dont on dispose transparaît aussi l'idée que la conception d'un bâtiment parasismique nécessite diverses adjonctions qui en augmentent le coût. Or, il n'en est pas nécessairement ainsi puisque le bâtiment parasismique type reposerait sur un plan rectangulaire et présenterait une symétrie parfaite des espaces internes et des élévations. A juste titre, certains diront qu'un tel édifice manquerait d'intérêt architectural, mais nul ne niera qu'il serait difficile de concevoir une forme moins coûteuse; on pourrait même aller jusqu'à dire que, de ce point de vue, un bâtiment parasismique serait d'un coût moins élevé qu'un bâtiment ordinaire.

Dans beaucoup de pays, toutefois, les écoles rurales sont si mal construites que de les équiper contre les séismes reviendrait très cher. Ce surcoût sera très différent selon les pays et à l'intérieur d'un même pays, selon que l'école sera située dans une région de montagnes ou dans une zone de plaines. D'où la nécessité, pour les planificateurs de l'éducation, de calculer les coûts et les

avantages de la protection parasismique, autres que ceux relatifs à la construction, dont les chiffres lui sont parfois fournis par les services compétents.

Il est essentiel que les responsables des politiques, avant de prendre une décision concernant la protection des écoles contre les catastrophes naturelles, aient pris connaissance du coût que cela impliquera. Pareille constatation appelle les conclusions suivantes:

1. Les planificateurs de l'éducation devraient être capables d'évaluer les coûts et les avantages de la construction d'une école apte à résister aux catastrophes naturelles, ce qui suppose que leur formation comporte des cours sur ce sujet.
2. Les services des constructions scolaires devraient être capables de concevoir des écoles qui résistent aux catastrophes naturelles, d'évaluer leur coût et de fournir aux planificateurs les données les concernant. Cela implique que les concepteurs doivent acquérir des compétences spécifiques, et que des techniques de calcul des prix et d'analyse de coût soient élaborées, ou améliorées si elles sont peu satisfaisantes.

Les écoles construites sous la responsabilité des populations locales

Dans beaucoup de zones rurales de pays menacés, les écoles primaires sont construites par la population elle-même. Dans ce cas, la protection des écoles contre les catastrophes naturelles dépend, dans une large mesure, de la manière dont s'établit la communication entre le pouvoir central et la population locale.

Les mécanismes de communication sont souvent aussi formels que l'information communiquée. On imagine mal qu'un fonctionnaire parvienne à faire sortir de terre une nouvelle école, en venant dans un village avec des plans compliqués, dessinés selon le principe de la projection orthogonale, avec des légendes et des cotes élaborées à la manière anglaise ou française (ce qui se produit encore couramment dans plusieurs des pays anciennement colonisés).

Plusieurs gouvernements ont fort bien compris le problème et ont su faire naître, en organisant avec soin des réunions avec les autorités locales, l'enthousiasme nécessaire pour que d'importants programmes de constructions scolaires soient entrepris.

Le programme de construction d'écoles primaires rurales en Afghanistan a été institué au milieu des années 70. Son succès a été dû, en grande partie, aux efforts déployés par le chef du service des constructions: en plus des émissions qu'il faisait à la radio à intervalles régu-

liers, il a organisé une série de réunions au cours desquelles il décrivait le bâtiment et les travaux à réaliser, ce qui donnait lieu à une discussion approfondie.

C'est principalement dans les zones rurales que la construction d'écoles protégées contre les catastrophes naturelles pose un problème et la protection des enfants dépendra souvent, au premier chef, de la qualité de la communication qui s'établira avec les populations rurales. Aussi convient-il que les spécialistes des sciences sociales des pays menacés continuent à œuvrer à l'amélioration de cette communication, en s'appuyant sur les services de développement rural.

Problèmes techniques

Dans ce qui précède il a essentiellement été question du processus de décision et des questions qui s'y rattachent. A supposer que l'on décide désormais de construire des écoles neuves aptes à résister aux catastrophes naturelles et de renforcer les anciennes, les ressources techniques nécessaires existent-elles?

Voici une liste indicative de ces ressources techniques: *a)* des codes et règlements de la construction à l'intention des concepteurs ou *b)* des règlements de la construction simplifiés pour les entrepreneurs ruraux ou les artisans locaux, rédigés impérativement dans la langue nationale; *c)* des architectes formés à la conception et au calcul des coûts de bâtiments aptes à résister aux catastrophes naturelles, en particulier des écoles; *d)* des ingénieurs civils ayant également reçu une formation adéquate en matière de conception et de calcul des coûts de bâtiments capables de résister à des catastrophes naturelles; *e)* des dessinateurs formés à porter une attention particulière aux détails qui font d'une école un bâtiment résistant aux catastrophes naturelles; et *g)* de la documentation technique à laquelle les spécialistes cités de *c)* à *f)*¹ pourront faire référence.

On analysera dans la troisième partie de cette étude la manière dont ces exigences pourraient être satisfaites.

Bibliographie annotée

1. SIMIU, E.; MARSHALL, D. *Building to resist the effect of wind*. Vol. 2: *Estimation of extreme wind speeds and guide to the determination of wind forces*. Washington, D.C., The Office of Science and Technology, Agency for International Development, Department of State, 1977.
Contient les résultats d'analyses statistiques des données concernant les vents extrêmement violents qui balayent les Philippines et propose, à l'intention des concepteurs, un schéma de calcul de la vitesse du vent qui tient compte de la durée escomptée du bâtiment, de la fréquence moyenne des tempêtes et de la durée moyenne des rafales.
2. UNESCO. *La protection contre le risque sismique*. Paris, Unesco, 1980.
3. UNICEF. *Communicating with pictures*. New York.

1. Là où il est d'usage d'avoir recours à des spécialistes du calcul des coûts tels que des métreaux, la formation des architectes et des ingénieurs en ce domaine peut se limiter à une simple initiation aux principes.

Troisième partie

Réduction du risque:
identification des secteurs d'intervention

Choix politiques et planification

L'information des responsables des politiques de l'éducation

La définition des grandes orientations en matière d'éducation relève, en général, du ministre de l'éducation, du vice-ministre et, *de facto*, de très hauts fonctionnaires du ministère: au total, quatre ou cinq personnes, tout au plus, hommes politiques ou fonctionnaires.

Un responsable des politiques de l'éducation interrogé sur la protection des écoles contre les catastrophes naturelles devra évaluer: *a)* la proportion d'écoles situées dans une zone menacée; *b)* en termes généraux, la nature du risque; *c)* quelles pourraient être les conséquences d'une éventuelle catastrophe naturelle sur le système d'éducation; et se demander *d)* comment faire pour s'informer sur les coûts et les avantages de la protection contre les catastrophes naturelles tant des écoles neuves que des anciennes.

Renseigné sur ces différents points, il pourra alors décider si les écoles du pays doivent ou non être équipées contre les catastrophes naturelles, le rythme auquel les travaux neufs et l'aménagement des anciens pourront être réalisés, et s'il convient de prendre d'autres dispositions en ce qui concerne, par exemple, l'accueil des sinistrés dans les écoles.

Divers moyens pourraient être employés pour initier les responsables des politiques de l'éducation à ces questions. Ce sont les suivants:

1. Les conférences régionales des ministres de l'éducation qu'organise l'Unesco tous les quatre ans. Leur ordre du jour pourrait comporter un point relatif aux catastrophes naturelles; mais cette solution pourrait ne pas recueillir l'assentiment général, tous les pays n'étant pas des pays à risque. Le document qui, dans la plupart des cas, sert de base de réflexion aux travaux de ces conférences comporte parfois un chapitre, ou une section dans un chapitre, sur les bâtiments scolaires. On pourrait y inclure des informations sur les dégâts que causent les catastrophes naturelles aux écoles et sur les moyens d'examiner le problème.

2. Les réunions régionales et sous-régionales de hauts fonctionnaires des ministères de l'éducation, qui se tiennent presque annuellement, dans certaines régions, sous l'égide de l'Unesco. Chaque fois que la question des constructions scolaires est évoquée dans une telle réunion, l'occasion pourrait être saisie pour communiquer des informations sur les catastrophes naturelles, les écoles et l'analyse coût-bénéfice.
3. Publication par l'Unesco d'une brochure d'information de quatre pages, destinée aux responsables des politiques de l'éducation sur les points *a* à *d* ci-dessus. Par ailleurs, la publication de cette brochure dans les revues de l'Unesco comme *Perspectives* et dans les périodiques des bureaux régionaux pour l'éducation de l'Unesco, contribuerait à sensibiliser un plus large public. Cette brochure pourrait contenir: *a)* quatre cartes régionales portant indication des frontières nationales sur lesquelles seraient figurées, par la surimpression d'une couleur, les zones menacées par les cyclones et les séismes; *b)* une brève explication de la notion de «risque»; *c)* un exposé succinct des effets qu'ont eus sur les bâtiments scolaires et les systèmes d'éducation les catastrophes naturelles qui se sont produites au cours de ces dernières années; et *d)* quelques indications sur le type d'information nécessaire pour pouvoir faire le choix d'une politique en matière de protection des écoles contre les catastrophes naturelles et de leur utilisation comme refuge, ainsi que sur le rôle de source d'information que devrait remplir la Division de planification du Ministère de l'éducation.

La formation des planificateurs de l'éducation

Il dépend entièrement du planificateur de l'éducation que l'on construise ou non des écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles. L'Unesco s'emploie très activement à contribuer à la formation des planificateurs de

l'éducation; en plus des cours dispensés par l'Institut international de planification de l'éducation (IPE) de Paris, ses bureaux régionaux pour l'éducation assurent des cours ordinaires et des cours par correspondance. L'Organisation apporte également un appui à plusieurs pays qui assurent eux-mêmes la formation de leurs planificateurs. Elle élabore actuellement des matériels nouveaux d'enseignement à distance qui viendront compléter ceux déjà en usage dans les cours internationaux, régionaux et nationaux.

La question des « choix » en matière d'utilisation des ressources éducatives est toujours au programme des cours de planification de l'éducation; à cet effet, on utilise des matériels ayant trait à l'analyse coût-bénéfice figurant souvent dans des livres ou des manuels pour l'enseignement à distance intitulés, par exemple: « Sciences économiques: bases de la planification de l'éducation », « Analyse financière » ou, simplement, « Analyse coût-bénéfice ».

Pour que les planificateurs puissent répondre aux demandes d'information, formulées par les responsables des politiques de l'éducation, sur les conséquences (pour le plan national d'éducation) de l'inscription à ce plan d'investissements destinés à assurer la protection des écoles contre les catastrophes naturelles et à en faire des lieux de refuge, encore faudrait-il que les planificateurs aient eu connaissance, au cours de leur formation ou de leur travail quotidien, de la documentation sur le sujet.

Devant pouvoir servir à la formation initiale et en cours d'emploi, cette documentation devrait être conçue pour l'autoformation et se présenter, de préférence, comme des textes établis pour l'enseignement programmé. C'est là un type d'enseignement auquel les planificateurs sont accoutumés [1, 2].

La mise au point définitive de ce matériel serait assurée par un formateur, sur la base des éléments fournis par une petite équipe comprenant un spécialiste en « estimation du risque » (un spécialiste du calcul des probabilités ou un mathématicien ayant l'expérience de la détermination des zones menacées par les séismes ou les cyclones). On se reportera à l'ouvrage de Simiu et Marshall [3] où sont définies les compétences requises en la matière. L'équipe devrait aussi comprendre un économiste spécialisé dans l'analyse coût-bénéfice et un architecte spécialiste de la prévention des catastrophes naturelles.

Ce matériel traiterait dans le détail des principes, et ensuite de leur application à des types courants de catastrophes naturelles — cyclones ou séismes —, autant que possible à l'aide d'exemples réels.

Un fois élaboré, ce matériel d'autoformation serait adressé à tous les services de planification de l'éducation des bureaux régionaux pour l'éducation de l'Unesco, à

toutes les institutions nationales dispensant des cours de planification de l'éducation et aux divisions de planification de l'éducation des ministères de l'éducation des pays menacés.

Documentation supplémentaire

Dans une certaine mesure, il est d'autant plus difficile de s'attaquer au problème des catastrophes naturelles qu'on le croit impossible à résoudre. Cela est sans doute vrai dans certains pays si l'on considère ce problème dans sa globalité; c'est pourquoi nous proposons, dans la présente étude, d'adopter une stratégie graduée qui s'attacherait à une seule question à la fois, par exemple celle des constructions scolaires. Plusieurs pays ont pris ce parti malgré leurs difficultés économiques et les problèmes de terrain. Ainsi, des écoles aptes à résister aux cyclones ont été construites aux Philippines, tandis qu'au Pérou et au Mexique des solutions ingénieuses de construction parasismique ont été mises au point.

L'expérience péruvienne a donné lieu à un film et celle du Mexique à une publication facilement accessible au profane. Il serait facile d'en faire autant pour les écoles philippines.

Le professeur Ambraseys [4] est l'un de ceux qui ont vivement préconisé de lancer une campagne d'information publique afin d'inciter à la construction de bâtiments capables de résister aux catastrophes naturelles, notamment les séismes, et à renforcer les édifices déjà existants. A notre avis, il serait très utile que les ministères de l'éducation des différents pays, dans un premier temps, suivent ce conseil.

Aussi l'Unesco devrait-elle adresser aux ministères de l'éducation de tous les pays concernés une copie du film sur les écoles parasismiques péruviennes, la publication sur les écoles mexicaines et un opuscule (à faire) sur les écoles des Philippines. Une documentation similaire devrait également être remise à toutes les bibliothèques du Service d'information des Nations Unies existant dans les pays concernés.

Des moyens pour informer les planificateurs et les responsables des politiques de l'éducation

Ces moyens devraient être les suivants:

1. Une brochure d'information de 4 pages intitulée *Politiques de protection des constructions scolaires contre les catastrophes naturelles*: 10 exemplaires environ pour chacun des pays concernés — soit 900 exem-

plaires, à raison de 300 en anglais, en français et en espagnol.

2. Des modules de formation à distance destinés aux planificateurs de l'éducation intitulés *Analyse coût-bénéfice de la protection des bâtiments scolaires contre les catastrophes naturelles*: 100 pages; 100 exemplaires pour chacun des bureaux régionaux pour l'éducation de l'Unesco; 100 exemplaires pour les institutions nationales assurant des cours de planification de l'éducation; soit 600 exemplaires à raison de 200 en anglais, en français et en espagnol¹.
3. Un matériel d'enseignement programmé à l'intention des planificateurs de l'éducation en activité et ne pouvant pas suivre les cours, qui traiterait de l'analyse coût-bénéfice de la protection des écoles contre les catastrophes naturelles: 100 pages; 100 exemplaires pour chacun des bureaux régionaux pour l'éducation de l'Unesco, soit 600 exemplaires, à raison de 200 en anglais, en français et en espagnol¹.
4. Un film sur la construction d'écoles parasismiques au Pérou. Commentaires en anglais, en français et en espagnol. Copies aux ministères de l'éducation des pays concernés, aux bureaux régionaux pour l'éducation de l'Unesco, aux bibliothèques du Service d'information des Nations Unies des pays concernés, soit 150 copies au total.
5. Adaptation (avec l'accord des autorités mexicaines) de l'opuscule intitulé *Mexico: Construcciones escolares CAPFCE*, avec traduction en anglais et en français pour distribution, par l'Unesco et ses bureaux régionaux pour l'éducation, aux pays menacés par les séismes: 500 exemplaires dans chaque langue.
6. Élaboration par le Bureau régional de l'Unesco pour l'éducation en Asie et dans le Pacifique d'un mémoire sur la conception, la réalisation et l'efficacité des écoles primaires philippines anticyclones: publication en anglais, en français et en espagnol (600 copies dans chaque langue) pour distribution, par l'Unesco et ses bureaux régionaux, aux pays menacés.
7. Organisation dans chaque région d'un atelier (ou de séances dans le cadre d'une réunion de hauts fonctionnaires de l'éducation) consacré à l'examen de la question de la protection des écoles contre les catastrophes naturelles, sur la base de la publication citée précédemment en 1.
8. Publication du 1. ci-dessus mentionné, revu et adapté dans *Perspectives* (Revue trimestrielle de l'éducation) et dans les périodiques régionaux, comme le *Bulletin* du Bureau régional d'éducation pour l'Asie.

1. La réalisation des documents cités en 2 et 3 pourrait être groupée et les quantités pourraient alors s'additionner.

Bibliographie annotée

1. VICKERY, D. J. *Educational buildings, space and cost norms for the educational planner*. Colombo, Asian Regional Institute for School Building Research, 1971. 105 p. (Texte pour l'enseignement programmé.)
2. UNESCO. *Third Group Training Course in Educational Planning. Phase 1: Correspondence programme*. Bangkok, Bureau régional de l'Unesco pour l'éducation en Asie et dans le Pacifique, 1976. Voir le livre 7, *Principles of educational management*, n° 1. (Texte pour l'enseignement programmé.)
3. SIMU, E.; MARSHALL, D. *Building to resist the effect of wind. Vol 2: Estimation of extreme wind speeds and guide to the determination of wind forces*. Washington, D. C., The Office of Science and Technology, Agency for International Development, Department of State, 1977. (Voir « Bibliographie annotée », note 1, p. 21 de la présente étude).
4. UNESCO. *The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976. Partie II: The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976*, par N. N. Ambra-seys. Paris, Unesco, 1976. (Doc. FMR/CC/SC/ED/76/169.)

Architecture, génie civil et protection des écoles contre les catastrophes naturelles

Généralités

Il ressort de la deuxième partie de cette étude qu'au niveau technique, la construction éventuelle d'écoles aptes à résister aux catastrophes naturelles dépendra, dans beaucoup de pays, des facteurs suivants : de l'introduction de codes de la construction et d'une réglementation applicable en zone urbaine et rurale; de l'adoption de mesures visant à l'application de ces règlements dans tous les pays; de la formation des architectes, ingénieurs civils, techniciens, et entrepreneurs; d'une prise de conscience accrue, dans les services de construction, des risques de catastrophe naturelle et de ses effets sur les bâtiments scolaires.

Ce chapitre traite uniquement des mesures à prendre pour améliorer la formation des architectes et des ingénieurs civils en matière de protection des écoles contre les catastrophes naturelles, et pour permettre aux services de construction d'informer des coûts les planificateurs de l'éducation, comme il convient qu'ils le fassent, ainsi qu'on l'a dit précédemment (voir p. 69 à 79).

Quelques remarques générales sur la formation

L'architecte qui conçoit un bâtiment scolaire ainsi que l'ingénieur qui en fait l'étude technique sont responsables de sa sécurité en cas de catastrophe naturelle. Si l'école sert à loger ou à nourrir des sinistrés, l'architecte sera aussi responsable de la manière dont le bâtiment aura rempli cette fonction.

Dans certains pays à risque, les départements d'architecture et de sciences de l'ingénieur des universités proposent un enseignement sur la conception des édifices capables de résister aux catastrophes naturelles. Ces cours constituent une initiation très précieuse, quel que soit le domaine de spécialisation vers lequel l'élève s'orientera par la suite. Beaucoup d'élèves ne reçoivent cependant pas une telle formation.

La Conférence intergouvernementale sur l'évaluation et la diminution des risques sismiques, déjà mentionnée par nous, a approuvé plusieurs résolutions qui peuvent avoir une application générale, bien qu'elles se réfèrent plus spécialement aux séismes. La Conférence a recommandé de mettre en place : a) des cours de brève durée dans des centres existants; b) des séminaires de courte durée sur des sujets d'intérêt particulier; et c) des équipes mobiles de formation pour promouvoir la recherche.

Organiser des séminaires de brève durée sur des sujets d'intérêt particulier est manifestement ce qu'il faut faire pour former les concepteurs de bâtiments scolaires.

Malgré cela, il restera sans doute un grand nombre — voire une majorité — d'architectes et d'ingénieurs dans les services de conception de bâtiments scolaires qui ne pourront, parce que les ressources offertes sont insuffisantes, bénéficier d'une formation en cours d'emploi.

Il ressort aussi de notre étude que la formation, dispensée dans le cadre du système formel d'éducation, s'adresse davantage aux ingénieurs qu'aux architectes. Quels moyens de soutien autres que les séminaires de brève durée précédemment mentionnés pourrait-on offrir aux architectes et aux ingénieurs spécialisés dans la protection des bâtiments scolaires contre les catastrophes naturelles?

Les méthodes actuelles de formation

Il y a deux types de formation : la formation initiale dispensée par l'université et la formation en cours d'emploi. Les universités sont à juste titre soucieuses de leur autonomie et sont davantage intéressées d'offrir aux étudiants une formation générale plutôt que spécialisée. Partant, les ouvrages existants sur la protection des écoles contre les catastrophes naturelles feront partie du programme de lectures conseillées, mais il n'en sera pas nécessairement tenu compte dans les cours proprement dit.

C'est donc la formation en cours d'emploi qui doit retenir notre attention. Quels sont les problèmes auxquels se heurtent l'architecte et l'ingénieur qui travaillent dans une ville de province à la conception d'une école apte à résister aux catastrophes naturelles? La difficulté majeure sera vraisemblablement le manque d'ouvrages techniques et l'absence de confrères avec qui parler des problèmes spécifiques à la conception de telles écoles.

Généralement, le concepteur a sur son bureau — ou à portée de la main — un ouvrage écorné pour avoir servi souvent qui constitue sa « bible » et représente parfois la totalité des ouvrages techniques mis à sa disposition par la bibliothèque. L'un de ces « manuels pratiques », publié dans un pays où pourtant la réglementation parasismique est bien au point, ne fait aucunement mention d'un code de la construction, renvoie à une carte de répartition sismique dont la référence est incorrecte, et indique au lecteur que, en cas de surcharges occasionnelles dues au vent ou aux séismes, il convient de tabler sur des contraintes admissibles par les matériaux employés, majorées du tiers. L'ouvrage s'accompagne de six ou sept pages de conseils raisonnables, mais trop généraux pour être pratiques.

Les techniciens qui travaillent dans une capitale ont évidemment plus de facilités, mais il leur arrive parfois d'ignorer qu'il existe dans des services administratifs autres que le leur, des cartes, des livres qu'ils pourraient consulter dans des bibliothèques où il ne vont que rarement.

L'établissement d'un ouvrage pour la formation en cours d'emploi, c'est-à-dire d'un manuel à l'usage des concepteurs, contribuerait grandement à résoudre ce genre de problème — à condition, bien entendu, que l'ouvrage puisse être lu par ceux auxquels il s'adresse.

L'Unesco est bien placée pour faire établir du matériel de formation et, compte tenu des relations privilégiées qu'elle a avec les services de constructions scolaires de presque tous les pays à risque, pour faire en sorte que ce matériel soit envoyé là où on en a le plus grand besoin.

Autres méthodes de formation

La nature du matériel de formation dépendra de la méthode suivie. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées: *a)* des cours par correspondance à l'échelon régional, semblables à ceux qui sont organisés pour les planificateurs de l'éducation par le Bureau régional d'éducation de l'Unesco pour l'Asie; *b)* des cours par correspondance à l'échelon national complétés par des séances de travail avec un enseignant, sous la direction d'experts locaux ou de diplômés d'établissements d'enseignement régionaux

(comme ceux décrits en *a)*; et *c)* la fourniture de manuels d'enseignement programmé à tous les services concernés des pays à risque.

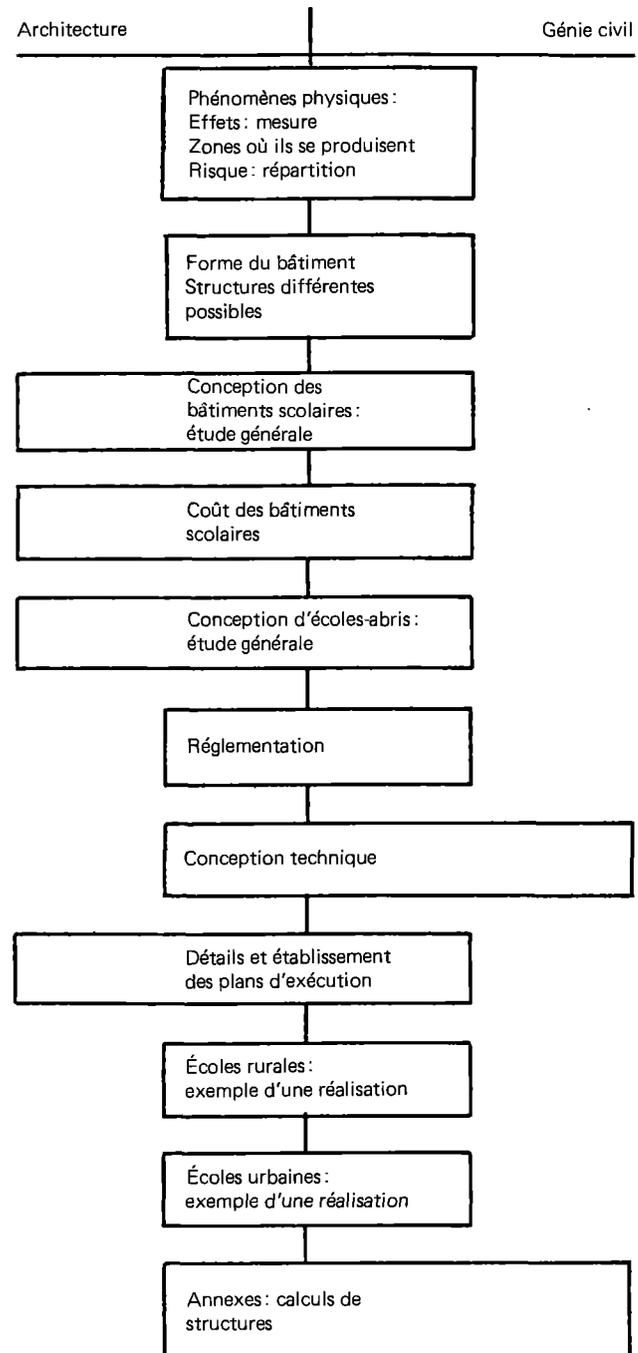


FIG. 25. Protection des écoles contre les catastrophes naturelles: contenu d'un manuel d'enseignement programmé sur la conception parasismique des bâtiments.

Des trois, la méthode des cours nationaux est celle qui présente le plus d'avantages : l'enseignement peut être replacé dans le contexte où il sera appliqué ; il peut exister un contact personnel entre enseignants et étudiants ; la langue d'enseignement peut être la langue nationale.

Toutefois, il y a un inconvénient : ces cours sont difficiles à organiser, et le pays peut ne disposer ni d'experts ni de codes et règlements de la construction. D'où l'intérêt des cours régionaux par correspondance, d'autant que le matériel pédagogique préparé, s'il est conçu avec soin, peut être facilement adapté et traduit dans une langue nationale et être utilisé dans les cours nationaux. Ainsi, en Asie, le matériel élaboré pour le cours régional de planification de l'éducation a été utilisé, après adaptation, dans plusieurs cours nationaux de formation de planificateurs.

L'absence de cours nationaux ou le prix élevé des cours régionaux — ce qui ne permet qu'à quelques-uns de les suivre — font que l'architecte et l'ingénieur de province, dont nous parlions précédemment, vivent dans une situation difficile. La seule solution satisfaisante consisterait à distribuer les textes d'enseignement programmé à ceux qui en ont besoin.

Ce qui précède nous porte à conclure que l'Unesco devrait s'attacher à élaborer des manuels d'enseignement programmé. Ces manuels, dont l'emploi n'exclut pas les autres méthodes de formation, seraient particulièrement utiles aux professionnels n'ayant pas accès aux programmes de formation.

Manuels d'enseignement programmé portant sur la conception des édifices

Deux manuels devraient être préparés : l'un sur les zones touchées par les cyclones, l'autre sur celles menacées par les séismes. Tous deux devraient être élaborés selon une optique interdisciplinaire, car c'est l'interdisciplinarité qui garantit la qualité en matière de conception des édifices. Lorsqu'il s'agit de bâtiments de dimensions relativement faibles comme les écoles, il n'y a aucune raison pour que l'architecte et l'ingénieur ne soient pas associés de près à l'ensemble de la conception de l'édifice, bien au contraire.

Ce n'est pas sortir du sujet que d'attirer, à ce stade, l'attention sur l'insuffisance des codes et règlements de la construction en vigueur dans de nombreux pays en matière de conception de bâtiments parasismiques ou anticyclones. Ne semblent-ils pas, pour la plupart, imposer à l'ingénieur de faire en sorte que le bâtiment dessiné par l'architecte résiste au choc du séisme ou du cyclone ?

Or il est bien évident qu'il serait beaucoup plus économique — du point de vue du temps et de l'argent — si, dès le départ, c'est-à-dire avant que l'ingénieur ne commence ses calculs, l'architecte concevait un bâtiment qui, de par sa forme, nécessiterait un minimum de travaux de renforcement. Le plus souvent, les codes et règlements de la construction sont muets, ou presque, sur ce point. Peut-être parce qu'il s'agit de règles générales, valables pour tous les types de bâtiments. On remarquera, toutefois, qu'en ce qui concerne la conception de bâtiments scolaires, il est possible d'être aussi explicite en matière d'exigences architecturales qu'on l'est pour les calculs des ingénieurs.

Le souci d'interdisciplinarité qui présidera à la préparation des manuels d'enseignement programmé n'empêchera sans doute pas chaque chapitre d'être plus spécialement axé sur l'architecture ou sur le génie civil. C'est ce que montre la figure 25, où sont indiquées quelques-unes des matières dont pourrait traiter un manuel d'enseignement programmé sur la conception parasismique des bâtiments.

Nous avons maintes fois souligné dans cette étude la situation particulièrement défavorisée des écoles rurales. C'est à notre avis — nous l'avons dit — aux bâtiments scolaires ruraux situés dans des zones sujettes aux catastrophes naturelles que l'Unesco devrait, en priorité, consacrer les éventuels programmes d'aide aux États membres. Les manuels devraient aussi privilégier les écoles rurales, notamment en choisissant parmi elles celles qui pourraient servir d'exemples pour illustrer les principes exposés. Un ou deux exemples pourraient concerner les écoles urbaines, mais c'est surtout sur les écoles rurales qu'il convient d'attirer l'attention des architectes et ingénieurs. Cela suppose bien entendu que l'État s'intéresse aux constructions rurales. Nous reparlerons plus loin du problème entièrement différent de la construction d'écoles rurales par les populations locales.

Coût de la protection des écoles contre les catastrophes naturelles

Le coût d'un bâtiment apte à résister aux catastrophes naturelles est — tous les ouvrages à ce sujet l'indiquent — supérieur de 2 à 12 % au coût normal de construction. Une plus grande précision est nécessaire en ce qui concerne les bâtiments scolaires. Nous avons dit dans un des chapitres précédents, qu'il ne fallait pas envisager de la même manière le coût des écoles urbaines et celui des écoles rurales. On peut sans doute construire des écoles urbaines — c'est-à-dire des écoles neuves — conçues

pour résister aux catastrophes naturelles, à un coût qui, par élève, serait identique au coût habituel. Dans certains pays, il pourrait en aller de même pour ce qui est des écoles rurales, mais, dans la plupart des pays où l'école rurale est construite à l'aide de matériaux locaux bon marché — comme l'adobe ou des blocs de terre compressée et couverte d'une terrasse en pisé — le coût d'un bâtiment scolaire plus solide sera plus élevé que celui du précédent.

La décision de construire ou non des écoles plus résistantes appartient — on l'a expliqué dans un chapitre précédent — aux responsables des politiques qui s'appuient sur une analyse coût-bénéfice établie à partir des indications de coût fournies au planificateur de l'éducation par le service des constructions scolaires. Ce qui intéresse le planificateur n'est pas le coût brut des briques et du mortier — heureusement, car les coûts bruts se calculent différemment selon les pays — mais le coût de construction par élève, qui correspond au coût des travaux de construction divisé par le nombre des élèves que l'école est censée accueillir. Le planificateur s'intéressera également au coût par *individu abrité* puisque l'école pourra servir aussi de refuge pour les sinistrés. Tous les pays, quelle que soit la méthode employée en ce qui concerne l'estimation des coûts, sont capables de calculer de tels chiffres.

Bien entendu, la question des coûts ne se pose pas seulement quand il s'agit de bâtiments conçus pour résister aux catastrophes naturelles. Les coûts des constructions ont une importance fondamentale pour les planificateurs de l'éducation au moment où ils établissent la partie investissements du plan relatif à l'éducation. L'Unesco élabore actuellement des matériels d'enseignement à distance sur les coûts des constructions scolaires à l'intention des planificateurs de l'éducation et des architectes spécialisés dans les constructions scolaires. A notre avis, il conviendrait d'adapter ces matériels pédagogiques à l'enseignement programmé et de les inclure sous forme de section distincte dans chacun des manuels dont nous avons recommandé l'élaboration dans le présent chapitre.

Documentation supplémentaire

Dans la deuxième partie de cette étude, nous avons attiré l'attention sur le nombre important de documents publiés et très utiles, malheureusement inaccessibles à la plupart des architectes et des ingénieurs en raison de la présentation qui est la leur: comptes rendus de conférences ou de réunions; articles de revues de diverses associations intéressées. Tout architecte et ingénieur devrait avoir la

possibilité de consulter ces sources premières d'information. On propose donc que ces documents soit recensés par des spécialistes des constructions parasismiques, d'une part, et anticyclones, d'autre part, ainsi que par un architecte et un ingénieur s'occupant des constructions scolaires, et qu'une sélection soit faite des publications (soumises au droit d'auteur) les plus utiles de l'Unesco à titre de documentation complémentaire pour accompagner les manuels.

Des moyens de formation pour les architectes et les ingénieurs

Il y aurait deux sortes de moyens de formation selon qu'on prendrait en considération les régions menacées par les cyclones tropicaux ou celles soumises à des séismes. Chaque ensemble de moyens comprendrait les éléments suivants:

1. *Un séminaire régional de formation.* Ce séminaire (un dans chacune des quatre régions définies par l'Unesco) permettrait de connaître les réactions nationales et régionales face aux propositions de formation telles que mentionnées brièvement ci-dessus. Une liste des centres régionaux disposés à prêter leur concours et capables de le faire (rédaction des documents; spécialistes du sujet). Les pays à risque de chaque région seraient invités à participer au séminaire qui compterait environ douze participants.
2. *Un manuel de conception des édifices,* conçu pour l'enseignement programmé, à l'intention des architectes et des ingénieurs se spécialisant dans la protection des écoles contre les catastrophes naturelles. Ce manuel serait axé sur les écoles rurales et comprendrait un chapitre sur le calcul des coûts. Il aurait 200 pages environ. Pour pouvoir l'adresser *a)* aux cours par correspondance régionaux/nationaux (100 par région = 400 exemplaires) et *b)* aux architectes et ingénieurs des services de construction des bâtiments scolaires (100 par région = 400 exemplaires), il faudrait au total environ 1 000 exemplaires à répartir entre les versions anglaise, française et espagnole selon les besoins.
3. *Du matériel de lecture complémentaire,* établi à partir d'un choix des ouvrages publiés (200 pages, 1 000 exemplaires).

La construction, par les collectivités rurales, de bâtiments scolaires aptes à résister aux catastrophes naturelles

Généralités

Les populations rurales sont très différentes selon les quatre régions où l'Unesco a lancé des projets sur le terrain concernant les constructions scolaires. Certaines populations sont totalement autonomes, d'autres ont pris l'habitude d'accepter les décisions des autorités qu'elles soient. Les démarches suivies pour construire les écoles sont également variées. Certaines collectivités suivent les plans fournis par le pouvoir central; d'autres reçoivent une aide en nature (des matériaux) de l'État, d'autres encore utilisent des éléments préfabriqués venus d'ailleurs et qu'elles intègrent à un bâtiment construit de manière traditionnelle; parfois, ces collectivités bénéficient des conseils techniques d'un inspecteur de travaux itinérant; certaines touchent des subventions de l'État; d'autres, enfin, construisent une école à leur idée, puis, quand le bâtiment est achevé, demandent à l'État de leur fournir des enseignants et des matériels pédagogiques.

Qu'elles entrent dans l'une ou l'autre de ces catégories, les populations rurales sont aussi soucieuses d'avoir des écoles que le gouvernement l'est de voir l'éducation s'étendre à tous. La question qui sera examinée dans ce chapitre est celle de l'aide que pourrait apporter l'Unesco, par le biais des gouvernements, aux populations rurales qui souhaitent construire des écoles offrant une protection contre les catastrophes naturelles.

La différence qui existe entre l'assistance dans le domaine de la formation des architectes et des ingénieurs et l'aide apportée aux collectivités rurales n'est qu'une différence d'échelle. Il y a, tout au plus, quelques milliers de concepteurs d'écoles tandis que le nombre de collectivités ayant besoin d'écoles protégées doit s'élever à des centaines de milliers. En outre, en ce qui concerne les architectes et les ingénieurs, une documentation proposée en un petit nombre de langues suffit, alors que pour les nombreuses collectivités intéressées la documentation devrait être traduite dans des centaines de langues différentes.

Il y a d'autres problèmes: il est peu probable que les

villageois sachent lire les plans établis par les architectes et les ingénieurs selon le principe de la représentation orthogonale et, s'il n'y a pas de technicien du bâtiment pour les aider, le bâtiment terminé pourrait fort bien être moins solide que s'il avait été construit selon les méthodes traditionnelles. Il ne faudrait pas non plus croire qu'il vaudrait mieux leur fournir des croquis en perspective. Il a été prouvé que les populations qui n'ont pas l'habitude de la lecture, ne comprennent parfois pas même le sujet d'un dessin en perspective, sans parler de ses détails. Dans certains endroits où l'on sait qu'un objet en trois dimensions peut être représenté sur un morceau de papier plat, il arrive que l'objet soit construit tel qu'il est dessiné, c'est-à-dire en perspective. La chose est relativement courante et il faut en conclure qu'un dessin devrait toujours être réalisé avec le concours de son destinataire. L'incapacité de beaucoup d'architectes à comprendre que d'autres ne sachent pas lire leur croquis n'a d'égale que l'incapacité de leurs clients à comprendre ce qu'ils ont voulu dire.

En résumé, il y a non seulement trop de collectivités pour que l'Unesco aide chacune d'entre elles, mais le type d'assistance que peuvent apporter des publications — si imaginatifs que soient leurs auteurs — est tel qu'il serait préférable de chercher d'autres manières d'aborder le problème.

Quelques moyens d'actions

Compte tenu du très large éventail des situations, il devrait y avoir une très grande variété d'approches possibles du problème. En voici quelques-unes.

Un des moyens de parvenir à long terme à une solution, qui a été recommandé dans plusieurs études et pour lequel un État membre a opté, consiste à avoir recours à l'éducation elle-même. Comme l'éducation fonctionnelle et orientée vers le travail se développe et que la participation des populations à l'éducation s'intensifie, il y a là un bon moyen de sensibiliser les populations

aux catastrophes naturelles. Cette action touchera tous les enfants habitant une zone vulnérable et aura des répercussions pratiques, non seulement en ce qui concerne les écoles mais aussi pour la maison où habite l'enfant qu'il souhaitera plus sûre. Les programmes d'innovations éducatives mis en place dans la plupart des régions seraient le lieu où lancer cette idée et peut-être y rencontrerait-elle un écho favorable. Un document sur cette question pourrait être établi par l'un ou l'autre des pays à risque qui participent à ces programmes.

Une des manières envisagée et mise en pratique au cours des dernières années d'aider les collectivités rurales à construire leurs écoles est de leur fournir, par l'intermédiaire des autorités responsables de l'éducation, des éléments de construction qu'il est difficile de se procurer. Cette méthode ne donne de bons résultats que si une petite équipe de techniciens du bâtiment préfabriqué vient aider la population du village. C'est ce qui a été fait, et très bien, en Inde pour les écoles primaires de l'Utar Pradesh. En pareil cas, il est évidemment plus facile de veiller à ce que le bâtiment que l'on construit offre le maximum de protection contre les catastrophes naturelles. Tout repose cependant sur les compétences de ceux qui travaillent dans les zones rurales. L'Unesco, forte de son expérience dans ce domaine, pourrait élaborer un manuel type concernant la formation, il serait très utile aux gouvernements des pays à risque, lesquels pourraient l'adapter à leurs propres besoins.

Divers auteurs ont insisté sur le fait que, même quand on peut les faire appliquer, les codes et règlements de la construction correspondent mal aux besoins des zones rurales où les principes locaux de construction entrent fortement en ligne de compte. Ce qu'il faut, ont dit certains, ce sont « des règles de protection des constructions contre les catastrophes naturelles à l'usage des zones rurales ». Il serait avantageux d'élaborer de telles règles d'abord pour les constructions scolaires et, en cas de bons résultats, d'en étendre ensuite l'application à d'autres secteurs de la construction rurale. Il conviendrait donc d'établir deux projets de réglementation modèle de la construction en zone rurale, l'un traitant de la résistance aux cyclones, l'autre aux séismes. Distribués aux gouvernements des pays à risque, ces projets de réglementation pourraient être adaptés localement et traduits autant que de besoin. Les pays qui en feraient la demande pourraient, peut-être, à cet effet, bénéficier d'une aide au titre du programme de participation.

Nous avons, dans ce chapitre, suivi l'ordre d'enchaînement des actions conduisant à la construction, par une collectivité locale, d'écoles capables de résister aux catastrophes naturelles (voir fig. 18, p. 52). Un point n'a pas été évoqué: l'aide que peuvent apporter les inspec-

teurs de travaux aux collectivités rurales. A n'en pas douter, dans la plupart des pays, le service d'inspection des constructions scolaires dispose d'un personnel bien trop insuffisant pour pouvoir inspecter toutes les écoles rurales. Pour résoudre ce problème il n'y a qu'un moyen: recruter et former plus d'inspecteurs de travaux. C'est une question qui relève au premier chef du planificateur de l'éducation. Les coûts d'inspection devraient apparaître dans l'analyse coût-bénéfice qui a été entreprise avant de définir les politiques à suivre en matière de construction de bâtiment conçus pour résister aux catastrophes naturelles. Il s'agirait de préparer, à l'intention des planificateurs, un document de réflexion qui prendrait en considération tant les questions de personnel que les coûts de construction et il serait utile de l'inclure dans le module d'enseignement à distance destiné aux planificateurs de l'éducation.

Résumé des propositions

1. Élaboration, par un État membre, en liaison avec un réseau d'innovation, d'un document de réflexion portant sur la sensibilisation au problème des catastrophes naturelles et sur l'action à mener dans les villages afin d'en atténuer leurs effets, ce document pouvant devenir un élément du programme d'étude des écoles primaires.
2. Préparation d'un manuel type concernant la formation, destiné aux équipes de construction qui aident les collectivités rurales à édifier des bâtiments scolaires (40 exemplaires dans chacune des trois langues en vue d'une distribution aux pays vulnérables).
3. Établissement d'un modèle de code de la construction rurale dans les zones menacées par les catastrophes naturelles (200 exemplaires dans chacune des trois langues en vue d'une distribution dans les pays à risque).
4. Insertion d'un chapitre sur les coûts de personnel dans le module d'enseignement à distance destiné aux planificateurs de l'éducation effectuant des analyses coût-bénéfice.

Renforcement des écoles existantes

Généralités

On a laissé pour la fin la question du renforcement des écoles existantes qui, par certains côtés, est la question la plus importante de toutes. Elle pose, sur deux points, un problème presque insoluble. Premièrement, le nombre de bâtiments existants qui sont très dangereux est si élevé que très peu de gouvernements pourraient financièrement envisager de les renforcer. Dans certains pays, presque toutes les écoles situées dans les zones rurales sont vulnérables. On se contente tout simplement, pour des raisons climatiques plutôt que de sécurité, d'utiliser les bâtiments aussi peu que possible. Fermées pendant l'hiver, vides lorsque les enfants sont dehors sous le soleil qui les réchauffe durant les saisons fraîches du printemps et de la fin de l'automne, des milliers d'écoles pourraient s'effondrer sans blesser quiconque. Le planificateur de l'éducation, lorsqu'il évaluera le risque, remarquera inévitablement que, compte tenu des vacances, des week-ends et des périodes du printemps et de l'été, une école rurale moyenne n'est que très peu utilisée sur une année, et que, partant, le risque qu'elle s'effondre sur les enfants est très faible. Il n'y aurait aucun cynisme de sa part à faire une telle constatation car c'est le *risque* qui est évalué ici. Quand on estime que le risque est important, il n'y a rien d'autre à faire qu'à trouver les moyens financiers requis pour renforcer les écoles déjà construites.

L'autre problème concerne l'estimation du nombre d'écoles à renforcer et de l'ampleur des travaux à faire sur une école moyenne. L'étude de Testa et Habibzadeh [1] sur les écoles de la République islamique d'Iran est très utile en la matière.

Ces deux auteurs ont mis au point une méthode d'enquête par sondage sur les édifices consacrés aux activités d'éducation, dont la particularité essentielle est de permettre de mesurer, à l'aide des normes qu'ils ont élaborées à cet effet, l'état d'entretien de ces établissements. Ainsi peut-on se faire une idée globale des besoins du pays. Cette méthode pourrait être appliquée point par point pour évaluer les besoins en matière de renforcement

des écoles existantes. Il nous semblerait donc utile de diffuser auprès des gouvernements de tous les pays concernés l'étude dûment révisée faite par ces deux auteurs.

Méthodes de construction

Reste à savoir, une fois que l'ampleur des travaux à effectuer a été évaluée, comment les réaliser. En d'autres termes, quelle est la meilleure méthode à employer pour renforcer un bâtiment à un seul niveau, aux murs de pisé et toit de terre, et situé dans un village reculé? Que faire pour renforcer une école dans une zone de vent très violent?

Il y a deux solutions à ce problème. La première solution consisterait à rédiger un bref document dans lequel seraient exposés, dans leurs grandes lignes, les principes du renforcement des édifices situés dans les zones menacées par les catastrophes naturelles. La deuxième solution serait d'annexer à ce document quelques-uns des excellents textes encore inaccessibles sur les solutions qui ont été apportées à des cas précis, et qui sont inclus dans les comptes rendus de réunions et de conférences et les publications des associations intéressées. Cette documentation pourrait être distribuée à tous les services de construction des États membres et les suggestions qu'elle propose pourraient être utiles lors de l'établissement des programmes d'entretien des bâtiments déjà existants.

Résumé

1. Il pourrait être donné au document *Sample survey of educational facilities in Iran* une portée plus générale. En l'axant notamment sur les catastrophes naturelles, on obtiendrait un document qui pourrait s'intituler: *Renforcement des écoles exposées à un risque de catastrophes naturelles: Méthodes d'étude*

(200 exemplaires en anglais, 200 en français et 200 en espagnol).

2. Il conviendrait de préparer et de publier en un volume un document sur les principes du renforcement des écoles exposées à un risque de catastrophes naturelles. Ce volume pourrait inclure d'autres documents écrits sur le même sujet (reproduits avec l'autorisation de l'auteur), extraits des comptes rendus de conférences (1 200 exemplaires, 400 en anglais, 400 en français et 400 en espagnol).

Bibliographie annotée

1. INSTITUTE FOR RESEARCH AND PLANNING IN SCIENCE AND EDUCATION. *Sample survey of educational facilities in Iran*, par Carlo Testa et Suzan Habibzadeh. Teheran, 1973. 44 p.