

© OCDE, 2004.

© Logiciel, 1987-1996, Acrobat, marque déposée d'ADOBE.

Tous droits du producteur et du propriétaire de ce produit sont réservés. L'OCDE autorise la reproduction d'un seul exemplaire de ce programme pour usage personnel et non commercial uniquement. Sauf autorisation, la duplication, la location, le prêt, l'utilisation de ce produit pour exécution publique sont interdits. Ce programme, les données y afférentes et d'autres éléments doivent donc être traités comme toute autre documentation sur laquelle s'exerce la protection par le droit d'auteur.

Les demandes sont à adresser au :

Chef du Service des Publications,
Service des Publications de l'OCDE,
2, rue André-Pascal,
75775 Paris Cedex 16, France.

Équipements éducatifs et gestion des risques

Les catastrophes naturelles



ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

Also available in English under the title:

Educational Facilities and Risk Management Natural Disasters

© OCDE 2004

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France, tél. (33-1) 44 07 47 70, fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508) 750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : www.copyright.com. Toute autre demande d'autorisation de reproduction ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

Programme pour la construction et l'équipement de l'éducation

Le Programme pour la construction et l'équipement de l'éducation (PEB : *Programme on Educational Building*) opère dans le cadre de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE). Il promeut les échanges internationaux au niveau des idées, de l'information, de la recherche et de l'expérience dans tous les domaines de la construction et de l'équipement de l'éducation.

Les préoccupations essentielles du Programme sont d'assurer que l'enseignement retire le maximum d'avantages des investissements dans les bâtiments et les équipements, et que le parc de bâtiments existants soit planifié et géré de manière efficace.

Les trois thèmes principaux du Programme sont :

- améliorer la qualité des bâtiments scolaires et mieux les adapter aux besoins, et contribuer ainsi à accroître la qualité de l'enseignement ;
- veiller à ce que la meilleure utilisation possible soit faite des sommes considérables que l'on consacre à la construction, au fonctionnement et à l'entretien des bâtiments scolaires ;
- signaler rapidement l'incidence qu'ont sur les équipements éducatifs les tendances qui se dessinent dans l'enseignement et dans la société en général.

Avant-propos

Le Programme de l'OCDE pour la construction et l'équipement de l'éducation (PEB), le ministère hellénique de l'Éducation et du Culte et l'Organisation des bâtiments scolaires S.A. (SBO - Grèce) ont organisé un séminaire international à Thessalonique, en Grèce, du 7 au 9 novembre 2001, consacré à la gestion des catastrophes naturelles et des bâtiments éducatifs. Outre des responsables de l'éducation et des infrastructures au plan gouvernemental, le séminaire a réuni des architectes, des ingénieurs et des scientifiques qui ont débattu des exigences particulières aux bâtiments d'enseignement face aux désastres naturels et en premier lieu aux tremblements de terre.

Ce rapport est centré sur le rôle que jouent les établissements d'enseignement au sein de la communauté, lequel va bien au-delà de l'hébergement des enseignants et des élèves quelques heures par jour. Ces établissements étant appelés à jouer le rôle de centres d'accueil d'activités sociales et culturelles, de rencontres sportives, etc., on s'accorde maintenant à penser que la construction de nouveaux bâtiments d'enseignement et l'adaptation des plus anciens doivent faire l'objet d'une attention particulière, de manière à offrir une protection maximale aux usagers et aux infrastructures en cas de désastre naturel.

Cette publication pose d'une part la question de la protection physique des établissements, et met par ailleurs en évidence la nécessité d'introduire des programmes de formation et d'éducation à la gestion des désastres naturels.

Table des matières

INTRODUCTION	11
Les bâtiments scolaires.....	11
Les partenariats	12
La formation.....	14
Les normes, règlements et procédures.....	16
Le financement et la législation	17
La recherche et le soutien.....	18
Conclusion.....	20
Sélection de documents, d'organisations et de programmes pertinents.....	20
Chapitre 1	
ÉVALUATION DES RISQUES ET PROTECTION RENFORCÉE DES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT CONTRE LES CATASTROPHES NATURELLES	23
Portée économique, culturelle et sociale	24
Les procédures d'évaluation des risques	26
La vulnérabilité propre aux écoles.....	31
Le renforcement des bâtiments scolaires en prévision des tremblements de terre ..	32
Le réaménagement des bâtiments scolaires contre les risques d'ouragan	36
Les politiques de renforcement des écoles existantes	36
Références	39
Sites Web.....	40
Remerciements	40
Chapitre 2	
LE RÔLE DES ÉCOLES DANS LA CRÉATION D'UN ENVIRONNEMENT PLUS SÛR EN CAS DE SÉISME	43
Introduction.....	44
Pourquoi accorder une telle importance aux écoles ?	44
Le but et les objectifs de l'Initiative pour la sécurité dans les écoles en cas de séisme (SESI)	45
Les activités et résultats attendus de l'Initiative	46
Les villes concernées par le projet.....	48
La diffusion du concept de la SESI	50
Conclusion.....	50
Chapitre 3	
L'INITIATIVE RADIUS DES NATIONS UNIES (OUTILS D'ÉVALUATION POUR LA PRÉPARATION DES ZONES URBAINES AUX RISQUES SISMQUES)	53
Préambule.....	54
Le projet RADIUS – Initiative des Nations Unies pour la prévention des tremblements de terre dans les villes.....	56
Les prolongements du projet RADIUS.....	57
Publications.....	59

Chapitre 4	
PRÉVENTION DES RISQUES ET GESTION DU PATRIMOINE SCOLAIRE :	
LES LEÇONS DES TEMPÊTES QUI ONT FRAPPÉ LA FRANCE	
EN DÉCEMBRE 1999	61
Ampleur et typologie des dégâts	62
Réglementation et précautions au niveau des constructions	65
Dispositif d'alerte et de prévention	67
Conclusion	70
Chapitre 5	
CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES BÂTIMENTS SCOLAIRES AU MEXIQUE :	
CADRE NORMATIF	73
Introduction	74
La vulnérabilité	75
La cartographie du pays – l'activité sismique	75
Les effets de site	76
Le système d'alerte sismique	77
L'évolution du cadre normatif	77
Le cas particulier des bâtiments scolaires	78
Le Fonds national pour les catastrophes naturelles (FONDEN)	79
Les centres d'hébergement ou de refuge	79
Le choix des sites	79
Chapitre 6	
LA FORMATION À L'ÉVENTUALITÉ DES CATASTROPHES :	
STRATÉGIES POUR LES ÉCOLES TURQUES	81
Historique, avant les séismes de 1999	82
Après les tremblements de terre de Kocaeli et Düzce : 1999-2000	82
Projet d'impact sur la communauté d'Istanbul (ICIP)	83
Automne 2000 – automne 2001	83
Le programme de base ABCD de sensibilisation aux catastrophes	
et la formation des instructeurs	84
Le programme ABCD en coopération avec le ministère de l'Éducation	84
Le matériel de soutien des instructeurs ABCD	85
L'atténuation non structurelle et les chefs de file de la jeunesse	86
Le développement des possibilités de diffusion	87
Les défis à relever	87
Garder grandes ouvertes les fenêtres d'opportunité	88
Chapitre 7	
PRÉPARATION AUX TREMBLEMENTS DE TERRE ET ATTÉNUATION DES	
RISQUES : LES LEÇONS TIRÉES DE L'EXPÉRIENCE ISLANDAISE	89
Introduction	90
Le contexte sismologique	90
Les mesures parasismiques	92
L'atténuation des risques	94
Les tremblements de terre du sud de l'Islande en 2000	95
Conclusions	97
Références	98
Chapitre 8	
LA RESTAURATION DES BÂTIMENTS SCOLAIRES : ASPECTS OPÉRATIONNELS,	
SCIENTIFIQUES ET SOCIAUX	99

Chapitre 9	
LA PLANIFICATION DE LA SÉCURITÉ DANS LES ÉCOLES EN CAS DE SÉISME	107
Rôle et activités de l'EPPO dans la planification de la sécurité	
dans les écoles en cas de séisme	108
La formation de la communauté éducative.....	109
Les mesures de protection parasismiques dans les établissements scolaires	110
Chapitre 10	
LA RESTAURATION STRUCTURALE D'ÉQUIPEMENTS ÉDUCATIFS EN GRÈCE	115
Introduction.....	116
La typologie structurale	116
Les types de pathologie	116
La conception de la restauration structurale	118
L'étude de cas de la Bibliothèque nationale.....	119
Le plan d'intervention proposé	124
Conclusion.....	125

Introduction

par

Grace Kenny

Les 7 et 8 novembre 2001, quelque 80 participants venus d'une douzaine de pays se sont réunis près de Thessalonique en Grèce pour étudier les situations et les circonstances diverses qui marquent la rencontre entre les équipements scolaires et les catastrophes naturelles ; il s'agissait avant tout des incidences et des effets des tremblements de terre et autres catastrophes, et de la conception et de l'utilisation correctes des bâtiments scolaires, afin qu'ils assurent la protection de leurs utilisateurs habituels ou qu'ils jouent leur rôle d'abri d'urgence pour les survivants éventuels.

Les dommages entraînés par les catastrophes, et notamment les tremblements de terre, ne sont pas seulement matériels en ce qu'ils touchent les bâtiments, leurs équipements, et avant tout leurs occupants ; ils peuvent aussi être économiques, culturels, et psychologiques. L'impact économique des catastrophes naturelles n'est que trop visible dans les pays en développement où les inondations et la sécheresse peuvent rapidement compromettre des années de progrès. La perte des archives (par exemple, la bibliothèque d'Alexandrie) et des artefacts culturels peuvent saper les fondements historiques d'un pays, tandis que les données et le matériel de recherche peuvent être impossibles à remplacer. De même, l'effet psychologique des catastrophes, et notamment des séismes, peut être dévastateur et durable, surtout pour ceux qui ne sont pas capables d'en comprendre la cause – c'est en particulier le cas des très jeunes personnes.

A mesure que l'on voit augmenter le nombre d'événements donnant lieu à contrat d'assurance et que la densité urbaine s'accroît dans le monde entier, mais surtout dans les pays en développement, l'impact des catastrophes (qu'elles soient naturelles ou provoquées par l'homme) sur l'environnement bâti devient spectaculaire. Il est de plus en plus indispensable de prendre en compte les probabilités et l'ampleur des risques de catastrophe naturelle, de les évaluer, de les suivre et de s'en prémunir.

Les bâtiments scolaires

La distribution

Mises à part les demeures, le type de bâtiment le plus répandu dans toute agglomération est celui qui sert à l'enseignement et à la formation des jeunes, c'est-à-dire les garderies, écoles maternelles et primaires, collèges et universités. De par leur fonction même, ces bâtiments sont également répartis dans leurs aires de

recrutement et sont utilisés, tout au moins en principe, par la vaste majorité de la population, à une époque quelconque de la vie. Dans certaines cultures, les écoles sont très largement considérées comme le pivot de la vie collective locale. Il s'ensuit qu'elles sont en position idéale pour pouvoir servir d'abri en cas de catastrophe. Mais en même temps, cela signifie aussi que si une catastrophe se produit, les bâtiments et les équipements scolaires seront forcément affectés et que des règlements particulièrement stricts doivent régir leur conception, leur construction et les procédures d'urgence à appliquer.

Les occupants

De plus, leurs occupants, parce qu'ils sont jeunes et vulnérables, jouissent d'une considération spéciale de la part du public ; tout malheur qui leur arrive, et en particulier, tout malheur qui pourrait être évité, est spécialement terrible, ce dont les autorités publiques ne sont que trop conscientes. (C'est pour cette raison qu'a été créé en France l'Observatoire national de la sécurité des établissements scolaires et d'enseignement supérieur).

Il est ironique d'observer que l'on pense souvent que les occupants des bâtiments scolaires y passent le plus clair de leur temps. En fait, cette hypothèse est contestable ; au Royaume-Uni, dans l'enseignement complémentaire (*further education*), par exemple, les experts en financement s'attendent à ce que les bâtiments soient disponibles 40 heures par semaine, 36 semaines par an, ce qui représente 16 % de l'année. Or il y a tout lieu de croire que ces 16 % ne sont utilisés qu'à 40 % de leur potentiel. Il y a donc en moyenne des élèves ou étudiants dans les bâtiments pendant environ 7 % du temps. Il est frappant de constater, au vu des communications présentées au séminaire, combien il est fréquent d'entendre que la « chance » a voulu que le désastre se produise pendant les vacances ou durant le week-end.

Le contenu

Comme nous l'avons vu, le contenu non humain des établissements d'enseignement peut aussi être très précieux. Il existe dans de nombreuses universités anciennes des collections de documents et d'objets qui représentent des trésors nationaux. Il arrive aussi que les établissements de recherche possèdent des données historiques qui ne peuvent être ni reproduites, ni sauvegardées électroniquement. En même temps, certains instituts de recherche peuvent manipuler des substances extrêmement dangereuses et, dans ce cas, les procédures normales de protection de la santé et de la sécurité doivent être renforcées dans les zones sujettes aux catastrophes.

Les partenariats

À un point sans doute inhabituel dans une conférence internationale, les intérêts des participants sont unanimes – la protection et la sécurité des personnes et des bâtiments. Mises à part d'évidentes variations géographiques, les différences culturelles et nationales n'ont pas été indûment ressenties. L'accord s'est fait, entre autres, sur l'importance des partenariats à tous les niveaux.

La conception

Au niveau de la conception, une bonne intégration des rôles de l'architecte, de l'ingénieur et du client revêt une importance cruciale pour le renforcement correct du bâtiment. Le rôle de l'ingénieur est particulièrement vital dans le contexte de la protection parasismique, tandis que l'architecte doit notamment envisager de fournir des bâtiments simples où les dommages éventuels soient faciles à déceler et à corriger. L'inspection doit être rendue aussi facile que possible en cas de catastrophe. Les éléments « masqués » et, en Grèce, les demi-colonnes, ont été identifiés comme des lieux possibles de dommages cachés. De même, la conception et l'aménagement des éléments non structurels doivent être étudiés et coordonnés. A l'occasion des tremblements de terre et des ouragans, de nombreuses atteintes sont dues à la chute des dispositifs d'éclairage et des meubles, et à la chute des toits.

L'importance du lieu d'implantation des bâtiments et des équipements ne doit pas non plus être oubliée. Les météorologistes, les géologues et les ingénieurs de l'environnement peuvent aider à placer le bâtiment dans la situation optimale.

Il peut aussi être utile, à certaines étapes du processus de planification et de conception, de faire appel aux spécialistes des sciences sociales et aux gestionnaires des catastrophes naturelles, afin de s'assurer que le fonctionnement des équipements vitaux (eau courante, chauffage, etc.) est suffisant lorsque les bâtiments sont utilisés comme refuges.

Au niveau local

Quand les bâtiments scolaires sont utilisés en tant que tels, mais sont aussi considérés comme d'éventuels abris après un événement catastrophique, la coopération s'impose, non seulement parmi le personnel et les élèves, ainsi que les parents et le milieu ambiant, mais aussi avec les services locaux de lutte contre l'incendie, de police, de protection de l'environnement et de santé. Même si ces accords de coopération fonctionnent au niveau local, il peut être nécessaire de les organiser et de les promouvoir au niveau national.

Au niveau national

Dans le domaine des bâtiments publics, il peut y avoir un « fossé » entre la conception et le financement centraux et l'entretien local ; ce fossé peut être crucial quand il s'agit d'assurer la sûreté et la sécurité des bâtiments, et il peut être indispensable de convenir d'une intervention de niveau national, sous une forme quelconque.

En cas de catastrophe, tout semble indiquer que la présence d'inspecteurs des bâtiments accrédités à l'échelon **national** est très rassurante pour les victimes.

Au niveau international

Étant donné l'impact international des catastrophes naturelles, et parce que les pays en développement sont particulièrement vulnérables, la coopération internationale est essentielle, qu'elle concerne la prévention ou la réparation ;

elle peut prendre la forme de réseaux internationaux (Stratégie internationale de prévention des catastrophes – Nations Unies) ou d'organisations. Il existe actuellement des programmes de grande portée qui cherchent à promouvoir une « culture de l'atténuation », comme le Programme de planification de la gestion des catastrophes (DMPP) du CNUDR (Centre des Nations Unies pour le développement régional), lancé en 1985, et qui comporte actuellement l'Initiative pour la sécurité dans les écoles en cas de séisme (SESI). Les « projets de recherche et de formation du DMPP ont pour objet d'aider les administrations locales, les organisations non gouvernementales et les établissements d'enseignement à créer des partenariats pour gérer les catastrophes avec les collectivités des pays en développement ». Sous cette rubrique internationale, la participation des populations locales est encouragée, et peut aller jusqu'à inclure le « renforcement des compétences » des maçons locaux en vue du réaménagement des écoles existantes.

L'Initiative RADIUS (Outils d'évaluation pour la préparation des zones urbaines aux risques sismiques) qui relève de l'UN/ISDR, le Secrétariat interorganisations de la Stratégie internationale de prévention des catastrophes naturelles des Nations Unies, est une autre initiative internationale de vaste portée. Des actions pilotes ont été menées dans neuf villes donnant lieu à des études de cas et un rapport a récemment été publié.

La formation

La formation est un élément important de tous ces programmes et initiatives, tant pour les concepteurs de bâtiment que pour les constructeurs eux-mêmes, mais aussi pour les usagers. Les pays sujets aux séismes doivent accorder plus d'importance que les autres à la formation adaptée des architectes et ingénieurs, et des spécialistes auxquels il peut être nécessaire de faire appel en vue de l'évaluation et du réaménagement des bâtiments existants.

La préparation

La préparation aux catastrophes naturelles dispensée dans les écoles a cela d'étrange que nous préparons les individus à quelque chose que nous souhaitons vivement ne jamais voir se produire et que nous préparons des enfants qui risquent fort d'être effrayés par un matériel trop explicite.

Les systèmes d'alerte doivent être fiables, acceptés et adaptés. Nous sommes tous habitués aux exercices d'alerte d'incendie dont nous ne savons pas s'il faut ou non les prendre au sérieux. L'un des principaux problèmes posés par les tempêtes récemment survenues en France (décembre 1999) tient au fait que les alertes météorologiques n'ont pas été suffisamment prises au sérieux ; en outre, certaines prévisions locales étaient tout simplement inexactes ; en effet, elles prévoyaient des vents pouvant aller jusqu'à 130 Km/h, alors que des bourrasques de 170, voire 200 Km/h ont été enregistrées.

Au Mexique, des cartes sismiques régionales ont été établies et le Centre d'instrumentation et d'enregistrement des secousses sismiques a mis au point un système d'alerte sismique (SAS). Ce système comporte douze stations de captage de

secousses sismiques, situées le long du littoral de l'état de Guerrero, qui permettent d'anticiper les effets d'un séisme important qui s'y déclencherait. De plus, depuis 1993, le ministère de l'Éducation exige que toutes les écoles de la zone métropolitaine de Mexico soient branchées sur les stations radiophoniques (ondes moyennes et modulation de fréquence), afin que les procédures d'évacuation puissent être lancées dès que le signal d'alarme est émis.

Si des plans d'action bien conçus sont en place, ils peuvent prendre effet très rapidement. En Grèce, le 7 décembre 1999, la plaine de l'Attique a été frappée par un tremblement de terre d'une intensité de 5.9 sur l'échelle de Richter ; pendant la nuit du 7 au 8 septembre, un programme opérationnel a été élaboré et le 8 septembre, des équipes d'ingénieurs civils de l'Organisation de la construction scolaire ont visité, inspecté et vérifié 634 bâtiments dans les 20 municipalités de la zone de l'épicentre. Les écoles ont pu rouvrir le 30 septembre.

La spécificité

La formation des usagers de l'école doit être adaptée au type de risque attendu ; cela ressemble à une évidence mais dans certains cas, les enfants ont été formés à des procédures d'évacuation alors qu'il aurait sans doute été plus sûr pour eux de rester à l'intérieur du bâtiment (notamment dans le cas de fuites chimiques extérieures).

L'acceptation

Une fois encore, la formation doit être considérée comme normale et, dans un sens, faire partie de la routine, ce qui a pour effet à la fois de diminuer la crainte et d'améliorer les niveaux de réalisation. Au Mexique, des exercices d'alerte sismique ont lieu tous les deux mois. En France, les plans d'urgence doivent être établis et soumis aux hauts responsables chaque année ; cette mesure est imposée aux écoles par l'administration centrale, ce qui met en évidence l'importance désormais donnée à la gestion des risques à l'école et la force de l'influence exercée par des instances puissantes et prestigieuses (en l'occurrence, l'État).

Il arrive que l'impulsion visant à améliorer la formation et la préparation vienne des syndicats de l'enseignement (France). L'acceptation de ce type de formation à la préparation fait passer l'orientation des programmes de la réaction à la prévention.

Les matériels

Tous les programmes et toutes les campagnes évoqués, et d'autres, font usage de matériels didactiques extrêmement inventifs qui comprennent des documents, des CD, des vidéos et même des maquettes de bâtiment. [Voir par exemple les aventures et les jeux de « Nee-Naw et ses amis », venus du Portugal, un cédérom mis au point par le Service de protection civile de la ville de Lisbonne, « Rentrez, restez à l'intérieur, écoutez la radio » (« *Go in, Stay in, Tune in* »), produit par le *United Kingdom National Steering Committee on Warning and Informing the Public during Emergencies* (Comité directeur national du Royaume-Uni pour la mise en garde et l'information du public en cas d'urgence), et « *Safety Skills for Life* » (« Compétences de sécurité pour la vie »), produit par le

Streetwise Safety Centre (Centre pour la sécurité dans la rue) dans le Dorset, également au Royaume-Uni. Ces derniers feront partie de la stratégie de la Commission européenne pour « Apprendre la protection en jouant ». Voir aussi les travaux effectués pour la *Scuola Sicura* en Italie. Pour plus de précisions sur ces programmes et ces matériels, voir la dernière section de ce chapitre.]

Au Royaume-Uni, la plus récente « Année de la science » a débuté le 7 septembre 2001 par le *Bond géant*, au cours duquel plus d'un million d'enfants de quelque 5 000 écoles ont tous sauté en même temps pour voir s'il y aurait un impact mesurable sur le système local de détection sismique du Royaume-Uni. On a décelé des traces locales, mais les résultats d'ensemble sont encore à l'étude.

Les normes, règlements et procédures

L'évaluation des risques

Tous les programmes de prévention et de renforcement commencent par une forme ou une autre d'évaluation ; celle-ci doit commencer par l'inspection visuelle des bâtiments qui s'assortira de formules normalisées mais adaptées, couvrant des éléments tels que l'âge, le type de construction, le site, la situation environnementale. Les programmes comme RADIUS produisent des logiciels pour faciliter cette démarche et les cycles d'inspection deviennent plus répandus et plus réguliers (notamment en Grèce et au Japon).

Freiner ou favoriser

Certains pensent que les normes de construction nuisent à la bonne conception des bâtiments. Par ailleurs, si les normes sont sans cesse mises en question et révisées, tant par les chercheurs que par les usagers, c'est sans doute qu'elles sont utiles et permettent de repérer les constructions de mauvaise qualité.

L'exécution

Toutefois, et comme dans bien d'autres domaines, il peut y avoir un fossé entre l'élaboration de normes adaptées et leur mise en œuvre correcte « sur le terrain ». Tout ensemble de codes du bâtiment doit être étayé par un système de surveillance rigoureux, permettant d'imposer des sanctions.

D'autre part, les normes ne doivent pas être rigides au point d'imposer la fermeture de 75 % des bâtiments scolaires si elles étaient appliquées, comme cela a été suggéré.

Normes centrales ou locales

Il peut y avoir des tensions entre les normes établies par des instances nationales pour couvrir tous les types de bâtiment et toutes les éventualités, et la situation qui peut exister au niveau local. L'un des problèmes tient au fait que les normes nationales de sécurité des écoles peuvent ne pas pouvoir prendre en compte la situation géographique et ne pas apprécier suffisamment l'effet cumulatif de plusieurs

phénomènes climatiques et de risques multiples qui entrent en jeu au même moment (le vent et la pluie, par exemple).

En Italie, la situation de la moitié nord du pays est très différente de celle du sud. Au Mexique, le pays a été divisé en plusieurs zones sismiques différentes.

A l'heure actuelle, plusieurs organisations (voir la dernière section de ce chapitre) s'efforcent d'élaborer une norme acceptable par toute l'Europe, l'Eurocode 8. « L'Eurocode 8 (EC8) est l'un des nouveaux Eurocodes qui remplaceront en temps voulu les nombreux codes de conception différents utilisés dans les pays d'Europe et aidera à normaliser les méthodes de conception dans l'Europe tout entière. L'Eurocode traite de la conception de tous les types de structure et de leur résistance à la charge sismique. » (Citation de l'EERC – *Earthquake Engineering Research Centre* –, Royaume-Uni.)

Les améliorations

Les normes doivent être constamment révisées à mesure que les technologies changent, de même d'ailleurs que les situations (urbanisation croissante, voire changements climatiques). En Grèce par exemple, les codes de construction concernant les tremblements de terre ont été révisés en 1959, 1985, 1995 et 2000.

Le financement et la législation

La prévention

La gamme des ressources utilisées pour mettre en œuvre les programmes de renforcement et de prévention est extrêmement large. Dans certains villages qui participent à des projets des Nations Unies, les habitants ont même levé des fonds pour protéger leurs propres écoles. En Grèce, un important programme d'évaluation et d'amélioration est en cours, et bénéficie d'une aide financière considérable de l'Union européenne. Au Japon, des dispositions existent désormais pour que, compte tenu de l'état des bâtiments scolaires, le gouvernement subventionne jusqu'à la moitié du coût du renforcement parasismique des écoles publiques, et jusqu'au tiers de ce coût pour les écoles privées. On reconnaît ainsi l'importance et l'impact des dommages causés aux bâtiments publics et le fait que, dans l'ensemble, ces coûts ne peuvent être supportés au niveau local.

L'entretien, qui incombe en général aux autorités locales, est un autre domaine où il est indispensable de disposer d'un financement suffisant si l'on veut que les normes de sécurité soient d'un niveau acceptable.

La réparation

Des dispositions de même ordre existent pour la réparation et la remise en état. Au Japon, la réparation faisant suite aux catastrophes naturelles est subventionnée quand il existe des « destructions graves » (désignées sur ordre du cabinet), à hauteur de deux tiers des coûts pour les écoles publiques et de la moitié des coûts pour les écoles privées.

Il existe aussi des fonds spéciaux ou fixes couvrant les catastrophes (comme le Fonds national pour les catastrophes naturelles, créé en 1996 au Mexique), et une participation des fondations privées et des individus charitables. L'Islande utilise un système d'assurance privée semi-obligatoire.

L'une des décisions cruciales à prendre quand les bâtiments sont endommagés consiste à savoir s'il faut réparer ou démolir, et les formules servant à décider en connaissance de cause sont nombreuses et variées. En Grèce, si un bâtiment a parcouru plus de la moitié de son cycle de vie, le coût des réparations doit être inférieur à la moitié de celui d'un nouveau bâtiment. S'il est plus récent, on peut aller jusqu'à 80 %. Toutefois, les bâtiments inventoriés ne sont pas soumis à ce critère et d'ailleurs, sous l'effet de pressions politiques et culturelles, il se peut que les écoles soient réparées alors que les formules en décident autrement. La loi Field (États-Unis, 1933) recommande une couverture pouvant atteindre 70 %, tandis que l'Islande et l'Espagne ne prévoient que 50 %.

Une législation spéciale

Quand une catastrophe survient, il est essentiel d'agir rapidement. En Grèce, où les tremblements de terre sont relativement fréquents, le ministère de l'Économie peut prévoir des procédures et des allocations de crédits exceptionnels en cas d'urgence, en contournant les dispositions normales. La loi permet aussi des mesures spéciales en vue de l'obtention des permis de construire, des acquisitions de terrain et des contrats. Ces contraintes juridiques, qui nécessitent l'adhésion à un calendrier, ont constitué un obstacle particulier au moment des travaux de réparation récemment effectués en France, sans parler des conflits éventuels entre experts dans divers domaines ni des désaccords en matière de responsabilité. Il est souhaitable, pour résoudre ces conflits, de disposer d'un organisme tiers qui domine la situation.

La séquence temporelle

Même si les programmes d'évaluation et de renforcement peuvent paraître très onéreux dans un premier temps, les coûts diminuent très rapidement après la première série. On estime que la récupération de ces coûts se fait en 15 ans. C'est aussi pour cette raison qu'il serait sans doute intéressant que des organes internationaux financent les premières étapes de ces projets, afin de les faire démarrer, pour ensuite confier le financement futur aux autorités nationales et locales. Une fois encore, il faut souligner l'importance d'une maintenance correctement assurée.

La recherche et le soutien

Les modalités techniques

Les tremblements de terre et autres catastrophes de même ordre ne se prêtent pas à la recherche théorique en vraie grandeur et en temps réel. Cela ne veut pas dire que la recherche en laboratoire est impossible. Il existe plusieurs centres de recherche dont quelques-uns sont cités dans la section consacrée aux références. Cette recherche est d'autant plus valable que ses méthodes comme ses résultats sont mis en question

et améliorés. Elle doit cependant interagir avec l'expérience des hommes de terrain et des usagers des bâtiments pour être intégrée à des normes améliorées.

La remontée de l'information

De réels progrès ne sont possibles que si les catastrophes sont correctement enregistrées et évaluées. Le Comité administratif chargé du programme fédéral de construction d'écoles du Mexique a notamment centré ses activités sur cet aspect ; au Japon, des études spéciales ont été faites sur la façon dont divers matériaux de construction (béton armé) réagissent aux séismes. A l'occasion des événements récents survenus en Californie, on a étudié les plus importantes causes d'atteinte corporelle (chutes de meuble plus que d'élément structurel), alors qu'en France pendant les tempêtes, les chutes de toit se sont avérées plus dangereuses que les dommages aux murs et aux fenêtres. Un exemple caractéristique vient de Papouasie – Nouvelle Guinée (juillet 1998) (Tassios) où des résidents de longue date ont reconnu le rapport entre les secousses sismiques et le risque de raz-de-marée et ont conseillé aux autres d'aller vers l'intérieur du pays, ce qu'ils ont fait.

Dès 1929, l'expérience de l'Islande a montré que les bâtiments « traditionnels » en bois étaient plus robustes que la « maçonnerie » et que le béton non armé, et cette observation précoce a été amplement confirmée depuis. L'Initiative pour la sécurité dans les écoles en cas de séisme (SESI), récemment établie, a confirmé ces observations.

La recherche action

A mesure que se développaient la sensibilisation et le travail en réseau, il est devenu possible de mettre à l'épreuve diverses combinaisons d'approches – construction, planification, synergie et réactivité – sur le terrain. C'est l'impulsion qui sous-tend le projet RADIUS, grâce auquel on a donné aux villes à risques la possibilité d'élaborer et de mettre en place des stratégies d'évaluation, de prévention et de gestion. L'évaluation « un an plus tard » montre les résultats de ces initiatives dans huit villes ayant fait l'objet d'études de cas, dont trois en Asie (Bandung, Tashkent et Zigong), trois en Amérique latine (Antofagasta, Guayaquil et Tijuana), ainsi qu'Addis-Abeba et Izmir. On a pu tester l'application des procédures recommandées en situation réelle, avec toutes les contraintes de la vie réelle, telles que les pressions locales et politiques, ce qui n'a pas été facile.

Les unités spécialisées

Il semble bien que toute l'information (recherche, expérience vécue, information en retour) qui était recueillie au moment de la catastrophe et qui, autrefois, disparaissait souvent, est désormais plus systématiquement rassemblée, évaluée et diffusée par des unités spécialisées et à leur intention. Ces organisations fonctionnent dans les différents pays et sont en général des instances publiques comme l'Organisation pour la planification et la protection contre les séismes (E.P.P.O.) en Grèce et l'Unité pour la prévention des catastrophes au Japon, qui centrent toutes deux leur action sur les bâtiments culturels et scolaires. D'autres organisations ne se composent pas

nécessairement d'individus qui partagent un lieu de travail, ni même un pays ; il s'agit de plus en plus souvent d'organisations à structure relativement lâche qui peuvent faire appel à toute la gamme d'experts voulue en cas de nécessité. Les différentes agences des Nations Unies en donnent un excellent exemple et les échanges d'information (remontée, expérience) et de compétences (recherches et études spécialisées) sont facilités par le Web et Internet.

Bien que ces unités aient une orientation essentiellement technique, l'importance de la sensibilisation aux problèmes qui se posent signifie que l'équipe comporte parfois des psychiatres et d'autres spécialistes des sciences sociales, et même des « célébrités » qui sont utiles quand il importe de capter l'attention du public, ou quand il faut trouver des fonds. L'aspect essentiel de ces unités est que ce sont des équipes, virtuelles ou réelles, qui peuvent être coordonnées par des secrétariats relativement peu nombreux, pour tenter de prévoir et de réagir à des événements publics potentiellement catastrophiques. Par ailleurs, les équipes « mondiales » peuvent contribuer à motiver et à organiser les équipes locales.

Conclusion

Comme toujours, il y a dans le domaine de la conception et de l'utilisation des bâtiments scolaires et de l'impact qu'ont sur eux les différents types de catastrophe, naturelle ou autre, des quantités de travaux d'excellente qualité.

Le développement des équipes et des organisations spécialisées met en évidence l'importance que l'opinion publique et les hommes politiques attribuent à ces événements. Il est manifeste qu'à mesure que l'urbanisation augmente, que des changements climatiques deviennent possibles (avec des conséquences néfastes, en particulier pour les pays en développement) et que la mondialisation de l'information entre dans la réalité, les catastrophes et leurs effets ne peuvent plus relever de la seule action des collectivités et des régions. Les organisations faitières, qu'elles soient nationales ou internationales, sont les seules à disposer de l'influence et des fonds suffisants pour soutenir et, le cas échéant, imposer des critères acceptables de construction, de maintenance et de réhabilitation.

Par ailleurs, dans le domaine des bâtiments scolaires et de leurs occupants vulnérables, d'aucuns avancent que les aspects psychologiques de la sensibilisation et du rétablissement après la catastrophe revêtent la plus grande importance. Ils sont certes importants ; toutefois, sans les progrès très réels qui sont faits en matière de normes techniques, de leur mise en œuvre et de leur suivi, les bâtiments endommagés ou détruits seraient bien plus nombreux et, inévitablement, les incidences psychologiques n'auraient pas lieu de se manifester.

Sélection de documents, d'organisations et de programmes pertinents

Centre des Nations Unies pour le développement régional

Disaster Management Planning Hyogo Office/GeoHazards International (2001), « Global Earthquake Safety Initiative (GESI) », projet pilote, rapport final, octobre, shaw@hyogo.uncrd.or.jp

Équateur

Escuela Politécnica Nacional/GeoHazards International (1995), « The Quito, Ecuador School Earthquake Safety Project: Investing in Quito's Future » (bilingue anglais/espagnol), geohaz@pangea.stanford.edu

États-Unis

APPA (2000), « Disaster Planning and Emergency Preparedness », *Facilities Manager*, volume 16, numéro 6, novembre/décembre 2000, www.appa.org

Decker, Robert H. (1997), *When a Crisis Hits, Will Your School be Ready?*, Corwin Press, order@corwin.sagepub.com

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1990), *Guidebook for Developing a School Earthquake Safety Program*, www.fema.gov

Multidisciplinary Centre for Earthquake Engineering Research, <http://mceer.buffalo.edu>

France

Observatoire national de la sécurité des établissements scolaires et d'enseignement supérieur, www.education.gouv.fr/syst/ons

Grèce

Organisation pour la planification et la protection contre les séismes (E.P.P.O.), « Tremblements de terre – savoir c'est se protéger », grtypou@osk.gr

Islande

Sigbjörnsson, R. *et al.* (2000), *Earthquakes in South Iceland on 17 and 21 June 2000*, Earthquake Engineering Research Centre, University of Iceland, Selfoss, sigbjornsson@hi.is

Italie

Projet de « *la scuola sicura* », www.scuolasicura.org

Japon

Unité de la prévention des désastres, Département des équipements et de l'administration, ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT).

Amélioration des performances parasismiques des bâtiments scolaires en béton armé au Japon.

Programme d'amélioration de la capacité parasismique des bâtiments scolaires existants en béton armé à Ota, Tokyo, Japon, www.mext.go.jp

Mexique

Gouvernement du Chiapas, Comité de construction des écoles, « *Esta Contigo !* », ccruz@coco.es.gob.mx

Nations Unies

Secrétariat des Nations Unies pour la Stratégie internationale de prévention des catastrophes naturelles (ISDR), Campagne mondiale 2001 des Nations Unies pour la prévention des catastrophes, www.unisdr.org

UN Initiative towards Earthquake Safe Cities, Outils d'évaluation pour la préparation des zones urbaines aux risques sismiques (RADIUS), okazaki-k29n@mlit.go.jp

Évaluation « un an plus tard » des villes ayant fait l'objet d'études de cas dans le programme RADIUS, tsunozaki@un.org

Nouvelle-Zélande

Ministère de l'Éducation, Division des bâtiments (1983), Précautions d'urgence et en cas de tremblement de terre dans les bâtiments éducatifs.

OCDE/PEB

Prévention et sécurité en matière de construction scolaire : conclusions d'un séminaire tenu à Semmering, Autriche, mai 1987.

Portugal

Service de la protection civile de Lisbonne, Conseil municipal de Lisbonne, « Grandir en sécurité », projet de sensibilisation, protection civile et sécurité ; « Nee-Naw et ses amis », cédérom disponible auprès de ipais@cm-lisboa.pt

Suisse

Commission commune pour la sécurité structurelle (en association avec six organisations internationales), www.iabse.ethz.ch

Royaume-Uni

Earthquake Engineering Research Centre, www.cen.bris.ac.uk/civil/research/eerc

« *Learning About Safety by Experiencing Risk* », (LASER), www.rosopa.co.uk/laser

Ministère de l'Éducation et des Compétences (1991), *A School for Armenia*, Building Bulletin 74, www.dfes.gov.uk/schoolbuildings

Streetwise Safety Centre, « *Safety Skills for Life* », disponible auprès de alison@streetwise.org.uk, *Royal Society for the Prevention of Accidents*.

The Giant Jump, www.scienceyear.com

The Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics (SECED) (Filiale britannique de l'Association internationale et de l'Association européenne de génie sismique qui prépare la norme Eurocode), eunice.waddell@ice.org.uk

UK National Committee on Warning and Informing the Public during Emergencies, « *Go in, Stay in, Tune in* », disponible auprès de david.moses@hertsscc.gov.uk

Union européenne

Learning Protection Through Playing Strategy (Apprendre à se protéger en jouant), Panagiotis.Alevantis@cec.eu.int; <http://europa.eu.int/comm/environment/civil/index/htm>

UNESCO

School buildings and natural disasters, Équipements et bâtiments éducatifs 4, 1982.

Protection of Educational Buildings against Earthquakes, Educational Building Report 13, 1987, www.unesco.org

Chapitre 1

Évaluation des risques et protection renforcée des établissements d'enseignement contre les catastrophes naturelles

par

T.P. Tassios

Professeur émérite, Université technique nationale,
Athènes, Grèce

Portée économique, culturelle et sociale

La construction est l'activité humaine la plus ancienne. L'être humain a été créé « malencontreusement nu et privé de l'instinct nécessaire pour se faire un nid ». C'est pourquoi Prométhée craignait qu'il ne disparaisse rapidement. C'est alors que, d'après les Anciens, les créateurs ont fait don de la technologie aux humains qui, rassemblés dans des villes, ont pu se protéger de la nature et ont connu la prospérité.

Pourtant, la construction n'est pas seulement la plus ancienne activité humaine, c'est aussi celle qui semble le plus en retard sur son temps. Elle est lente à s'adapter à l'évolution du contexte environnemental et social, ce qui n'est guère flatteur pour les architectes et les ingénieurs.

Les gens demandent pourquoi nous ne construisons pas des bâtiments, en particulier pour les jeunes, en d'autres termes des écoles, qui puissent résister aux ouragans, aux inondations, aux glissements de terrain, aux incendies de forêt, aux tremblements de terre ou aux raz-de-marée. En fait, c'est bien ce que nous faisons : pensez seulement aux centaines de milliers de bâtiments scolaires qui résistent très bien aux catastrophes naturelles (ainsi qu'à quelques dégâts causés par l'homme).

Oui, mais nous objecte-t-on, « qu'en est-il des milliers d'autres cas, en particulier dans les pays en développement, où des échecs dramatiques se produisent ? ». Ici, un ingénieur répondrait que tout bâtiment doit être conçu en fonction de l'intensité maximale de la catastrophe redoutée. Et comme on ne peut procéder qu'« en se fondant sur les statistiques relatives aux degrés d'intensité passés – et encore, de façon plus ou moins approximative – il nous faut choisir une intensité maximale qui soit « socialement acceptable » en ce sens qu'elle ne risque guère d'être dépassée. Comme nous le savons, ce risque *ne peut être nul* car sinon, il faudrait se référer à une intensité infinie (c'est-à-dire construire un bâtiment impossible).

Comment, à un moment donné, une société donnée choisit-elle un « degré de probabilité d'échec » acceptable ? Il n'existe pas de procédure explicite, mais la valeur P_f (possibilité d'échec) retenue implicitement, sur la base d'une longue expérience et de tâtonnements successifs, a pour but d'optimiser le coût total (investissement direct, coût d'équipement, plus les coûts qui risquent d'être encourus si l'intensité de risque « probable » est dépassée) pendant la durée de vie du bâtiment prévu. Les coûts d'assurance de la qualité et d'entretien entrent également dans l'équation. Le tableau I récapitule les facteurs qui influent sur ce degré de « probabilité acceptable ».

Théoriquement, tous les éléments des « coûts généralisés » sont des fonctions directes ou indirectes de la probabilité acceptable de l'échec P_f . Ainsi, pour une durée

Tableau I. **Consensus social concernant le niveau de sécurité des bâtiments face aux catastrophes naturelles et humaines**

Consensus social	Facteurs	Caractéristiques sociales		
		Économiques	Techniques	Morales
Sur la probabilité « acceptable » d'un échec	Hiérarchie des valeurs Revenu moyen	●		●
Sur « l'assurance de qualité » des processus de conception, de construction et de contrôle et sur « l'entretien »	Niveau technologique Niveau d'éducation + compétences professionnelles Ressources disponibles	●	● ●	●

de vie donnée « t » et dans un contexte économique, technique et moral donné, la valeur P_{F-} retenue est celle qui minimise le coût généralisé C_{gen} .

Tous les facteurs influant sur le niveau de sécurité peuvent être rangés dans les catégories économique, technique ou sociale, comme indiqué au tableau I. Il paraît étrange qu'un concept tel que le « niveau de sécurité de la construction » qui est censé être technique, dépende de tant de facteurs économiques, technologiques et sociaux, mais il en est ainsi.

C'est précisément à cause de cette complexité et du caractère approximatif du processus statistique que j'ai signalé que nos sociétés semblent être si fréquemment « surprises » par des vices de construction, lorsque de graves phénomènes naturels se produisent.

Dans bien des cas, ces échecs représentent seulement la note à payer du fait de la préférence accordée dans le passé à des solutions à faible coût. De plus, les « pays en développement sont beaucoup plus vulnérables que les pays industrialisés aux pertes causées par les catastrophes naturelles. Ils subissent en effet plus de 95 % de l'ensemble des pertes en vies humaines dues à ces catastrophes, et des pertes économiques vingt fois plus importantes que celles des pays industrialisés (en pourcentage de leur produit intérieur brut). En incluant la gestion des risques dans ses opérations courantes, la Banque mondiale s'efforce d'aider les pays à se préparer aux catastrophes et aux opérations de redressement consécutives, et à réduire leur inquiétante vulnérabilité. » Ce message de la Banque mondiale (W. Anderson, NSF, juin 2001) pourrait avoir une portée beaucoup plus grande après les événements du 11 septembre 2001.

A cause de ces facteurs incertains et très divers, les destructions annuelles de bâtiments (et plus spécialement de locaux scolaires) sont considérables dans le monde – « si embarrassant et humiliant que cela puisse être respectivement pour les professeurs et les théologiens » (E.J. Barbier). Les pertes en vies humaines et les pertes matérielles ont d'énormes conséquences économiques et culturelles : dégâts économiques directs (qui doivent être immédiatement supportés par la génération actuelle), dégâts en matière d'éducation (scolarité différée), dommages psychologiques (troubles névrotiques divers touchant un pourcentage considérable d'élèves). Par

ailleurs, quand un bâtiment scolaire est endommagé ou peu sûr, il ne peut pas servir d'abri temporaire durant la période de crise. Enfin, et c'est certainement le pire aspect, les pertes en vies humaines chez les jeunes sont toujours beaucoup plus douloureusement ressenties.

A ce stade, un autre élément entre en jeu : plus un bâtiment scolaire est ancien, plus les risques qu'il comporte sont grands à cause :

- du niveau inférieur des compétences techniques et des ressources employées dans le passé ;
- de la dégradation structurelle qui a pu avoir lieu pendant la durée de vie du bâtiment.

Par ailleurs, les compétences, les ressources et la capacité de maintenance disponibles sont très inégalement réparties dans chaque pays (et plus encore, d'un pays à l'autre). Pour toutes ces raisons, un élève d'une école ancienne est exposé à des risques beaucoup plus grands et, une fois encore, la justice sociale n'est manifestement pas respectée.

L'un des remèdes à cette situation peut consister à « renforcer » les locaux scolaires existants contre les risques de catastrophe naturelle ou causée par l'homme. Le renforcement structurel est donc une stratégie de la plus haute importance du point de vue économique, fonctionnel et social.

Les procédures d'évaluation des risques

En guise d'introduction, on trouvera au tableau II (tiré de « *Megacities* », The Institute of Civil Engineering, Londres, 1995) une récapitulation des effets primaires et secondaires des catastrophes naturelles. Il conviendrait sans doute d'y ajouter les feux de brousse et de forêt et les tempêtes de neige. Il faut également mentionner les risques liés à l'homme, comme les produits dangereux, les incendies, volontaires ou non, les accidents radiologiques, le vandalisme et le terrorisme.

Nous n'allons examiner ci-après que les catastrophes naturelles. La bibliothèque de la FEMA (www.fema.gov/library/facts.htm) constitue une précieuse source d'information sur les risques liés à l'homme.

Depuis le début des années 1980, le nombre de catastrophes pour lesquelles des compagnies d'assurance sont intervenues augmente régulièrement, passant d'une centaine par an avant 1980 à 250 en 2000 (Sigma, n° 2, 2001).

L'évaluation des risques auxquels sont exposés les établissements d'enseignement peut normalement être intégrée à l'évaluation nationale des risques. (Seuls quelques risques liés à l'homme peuvent éventuellement être propres à telle ou telle école). Dans le cadre de la réglementation nationale, les niveaux de risque sont déterminés en fonction du degré de probabilité « accepté » d'un dépassement de ces niveaux. Des degrés de probabilité plus faibles peuvent être imposés pour certains bâtiments scolaires plus sensibles, en particulier s'ils sont censés servir d'abri après une catastrophe.

On trouvera ci-après une liste d'exemples de destructions de locaux scolaires causées par des catastrophes naturelles. Réunis plus ou moins au hasard, ces

Tableau II. **Récapitulation des effets primaires et secondaires des catastrophes naturelles**

Catastrophes naturelles	Phénomènes primaires	Phénomènes secondaires
Cyclone	Vents violents Fortes pluies	Inondation et montée de la mer Glissements de terrain Pollution des eaux
Inondation	Crue	Pollution des eaux Glissements de terrain Érosion Dépôts
Raz-de-marée	Inondation	Pollution des eaux Glissements de terrain Érosion Dépôts
Tremblement de terre	Violentes secousses du sol Rupture de faille	Liquéfaction du sol Incendie Inondation Glissements de terrain Raz-de-marée Pollution des eaux
Glissement de terrain	Effondrement du sol	Inondations du fait de barrages Pollution des eaux Coulées de débris
Volcan	Coulées de lave Coulées pyroclastiques Retombée de cendres Gaz volcaniques	Incendie Pollution atmosphérique Raz-de-marée Coulées de lahar Pollution des eaux Effondrement des sols dû au retrait des eaux

Source : *Megacities, Inst. of Civ. Eng.*, Londres, 1995.

exemples soulignent la nécessité de statistiques détaillées et d'un suivi continu dans ce domaine, et ce à l'échelon mondial car sinon, il sera plus difficile de mettre en place une stratégie efficace d'atténuation des risques auxquels sont exposés les établissements d'enseignement.

Tempêtes et cyclones

En Belgique, des centaines d'écoles ont été endommagées par la tempête du 25 janvier 1990. Des pertes directes de plus de 3 millions d'euros ont été signalées. Dans la seule province d'Anvers, 37 bâtiments scolaires ont été endommagés par la tempête du 9 août 1992, qui a causé plus de 100 000 euros de dégâts.

Entre 1985 et 1994, aux États-Unis, la foudre a endommagé sept bâtiments scolaires. D'une façon plus générale, des catastrophes liées aux intempéries ont causé dans ce pays plus de 180 milliards de dollars de dégâts entre 1988 et 2000.

Au cours de la dernière décennie, les universités de Miami, de Tulasne et de Caroline de l'Est ont été fermées en raison d'ouragans. Par ailleurs des inondations ont causé des dégâts aux universités du Dakota du Nord, du Colorado et de Syracuse et à bien d'autres universités où l'activité a été interrompue.

Glissements de terrain

Le fait que les glissements de terrain causent en moyenne 2 milliards de dollars de dégâts et font 35 victimes par an rien qu'aux États-Unis donne une idée générale de l'ampleur du problème. Bien que l'auteur ne dispose pas de données précises concernant les bâtiments scolaires, de tels chiffres montrent combien les risques liés aux glissements de terrain sont grands.

Raz-de-marée

Le 17 juillet 1998, un raz-de-marée a totalement anéanti les villages d'Arop et Wanapu, en Papouasie-Nouvelle Guinée. Cinq écoles se trouvaient dans la zone dévastée, et 233 élèves et cinq enseignants ont trouvé la mort. Quelques personnes âgées ont compris qu'il y avait un rapport entre les secousses sismiques et le risque de raz-de-marée, et ont dit aux autres de se diriger vers l'intérieur des terres après le tremblement de terre (le délai de 15 à 25 minutes avant la première vague a permis à beaucoup d'habitants de se rendre en lieu sûr).

Tremblements de terre

Les risques dus à des éléments non structurels constituent un aspect important des dégâts auxquels les écoles sont exposées en cas de tremblement de terre. Dans le *Los Angeles Unified School District* (900 écoles desservant 800 000 élèves et employant 80 000 personnes), si le tremblement de terre de Northridge (17 janvier 1994) s'était produit un jour d'école, des milliers d'enfants auraient été sérieusement, voire grièvement, blessés par des éléments non structurels. Des centaines d'appareils d'éclairage sont tombés sur les pupitres des élèves dans les classes où ceux-ci se seraient normalement trouvés.

D'une façon plus générale, les pertes matérielles dans les 5 500 établissements scolaires ont été estimées au total à 140 millions de dollars. Nous reviendrons sur l'effondrement partiel d'un bâtiment relativement récent près de la bibliothèque Oriatt (université de l'état de Californie).

En fin de compte, grâce aux premières mesures prises après l'adoption de la loi Field, les locaux scolaires des États-Unis ont résisté aux tremblements de terre de façon assez satisfaisante. Il importe de se souvenir que celui de Northridge en 1994 a causé au total 25 milliards de dollars de pertes. En revanche, le tremblement de terre de Loma Prieta en 1989 n'a causé que de faibles dégâts aux écoles publiques, le bâtiment administratif de l'université de l'état de Californie constituant une exception.

Le cas du Mexique devrait également être signalé dans cette liste indicative des dégâts causés par des tremblements de terre aux locaux scolaires. Après le tremblement de terre d'Oaxaca du 30 septembre 1999, plus de 1 500 écoles ont été endommagées

et ont fermé leurs portes à 300 000 élèves en attendant d'être inspectées. Il n'y a cependant eu que peu de véritables dégâts structurels.

Trente élèves ont été tués par l'écroulement de deux bâtiments scolaires lors du tremblement de terre de Cariaco (Venezuela) en 1997 du fait de l'effondrement des petites colonnes caractéristiques de ce type de bâtiment.

Les tremblements de terre survenus en Turquie en 1999 ont également provoqué d'importantes destructions de locaux scolaires. Ils ont détruit ou endommagé un grand nombre d'écoles primaires et secondaires dans cinq provinces et 15 districts de Turquie occidentale, touchant 36 000 élèves et 1 140 enseignants. Quarante-trois écoles ont été détruites et 380 bâtiments scolaires ont été endommagés et ont dû être réparés. Le coût total a été estimé à 40 millions de dollars et 550 000 élèves ont été affectés. Il convient de signaler qu'à Yuracik, une faille sismique de surface passait au milieu d'une école.

Dans ce bref panorama des dégâts causés par des séismes aux locaux scolaires, il faut mentionner également le cas de quelques petits pays.

A Guam, le tremblement de terre de 1993 a endommagé plusieurs bâtiments scolaires bas construits entre 1965 et 1986. On a constaté dans certains cas des techniques de construction inappropriées, les principales causes de dégât étant l'utilisation de petites colonnes et le poids excessif des toits.

Dans l'ouest de Sumatra, le tremblement de terre de Bengkulu du 4 juin 2000 a détruit 136 bâtiments scolaires et en a endommagé 116 autres.

Si incomplet soit-il, ce rappel des destructions de bâtiments scolaires dues à des catastrophes naturelles montre la nécessité d'une évaluation préalable des risques, et d'une politique appropriée de renforcement des locaux. Les risques ne peuvent être classés que par pays, mais dans l'ensemble, à l'échelon mondial, il semble que les tremblements de terre, les tempêtes et les inondations causent des pertes comparables en vies humaines et sur le plan économique (Munich Re, *Geoscience Research Group*, 1999).

Techniques d'évaluation des risques

Les études de vulnérabilité constituent la méthode la plus élémentaire d'évaluation des risques prévisibles pour un bâtiment scolaire :

- l'inspection visuelle pour identifier et apprécier la structure, notamment les fondations ;
- la prise en compte des informations sur les règles de construction en vigueur au moment de la construction ;
- l'examen également de l'importance sociale, fonctionnelle et économique de chaque bâtiment.

Toutes les données sont quantifiées empiriquement, de sorte que l'on obtient un indice de risque relatif (R) :

$$R = f [I, H - H_0, V]$$

I = indice d'importance reflétant tous les types de pertes potentielles, tenant également compte des issues de secours.

$H - H_0$ = différence entre le niveau de risque prévu « H » et H_0 , celui qui est pris en compte (explicitement ou non) dans la conception du bâtiment.

V = indice de vulnérabilité, estimation de la « tendance » du bâtiment à subir des dégâts structurels ou autres.

Une technique plus élaborée (mais encore très approximative) est fondée sur les « fonctions de vulnérabilité » applicables aux bâtiments d'un type et d'un âge donnés.

Sous sa forme la plus simple, cette technique est basée sur les « courbes de dégâts ». Pour l'intensité d'un risque prévu (par exemple la profondeur des eaux de crue, les accélérations du sol dues aux séismes, etc.), la courbe prévoit les dégâts « D » en pourcentage de la valeur totale « C » du bâtiment. Un indice de risque peut ainsi être estimé comme suit, « I » représentant ici l'importance sociale, la densité d'occupation, l'existence d'issues de secours, etc. :

$$R = I.D.C.$$

Dans le cas particulier des tremblements de terre, une technique plus perfectionnée a été mise au point aux États-Unis.

Une méthode d'estimation des pertes dues aux tremblements de terre figure dans le programme informatique HAZUS destiné aux autorités locales, régionales ou fédérales effectuant une étude sur les pertes dues à un séisme (Agence fédérale de gestion des situations d'urgence (FEMA)/NBIS) et censé être utilisé pour :

- prévoir la nature et l'ampleur des opérations d'urgence nécessaires ;
- élaborer des plans de redressement et de reconstruction après une catastrophe ;
- atténuer les conséquences de la catastrophe par divers moyens, notamment le renforcement des installations.

Cette méthode est ambitieuse et prend en compte :

- les ruptures de faille, la liquéfaction et le glissement secondaire des sols ;
- l'ensemble des bâtiments, les installations, les systèmes de transport et de services publics vitaux.

Une analyse par défaut est également envisageable, quoique avec des marges d'incertitude plus grandes. Les informations fournies par cette méthode comprennent :

- les estimations quantitatives des pertes (notamment les pertes en vies humaines et le volume des débris) ;
- les pertes au niveau fonctionnel et les délais de remise en service ;
- l'ampleur des risques ultérieurs induits (par exemple déclenchement et propagation d'incendie, risques d'inondation, etc.).

Un autre type d'évaluation des risques porte sur les risques multiples. C'est ainsi que les risques liés à un séisme peuvent être dus non seulement à l'action directe du séisme sur le bâtiment, mais aussi à d'autres conséquences comme une inondation résultant de la rupture d'un barrage ou une explosion causée par l'éclatement de pipelines proches.

C'est là la méthode qui a été suivie dans une étude spéciale réalisée par le *Castaic Union School District* de Californie qui exploite 63 bâtiments (1 200 élèves et 120 membres du personnel). La résistance du barrage (situé à trois kilomètres en amont) aux séismes a été confirmée de nouveau par rapport au « tremblement de terre maximal crédible », bien qu'un très faible risque de rupture persiste. On a constaté que les pipelines de pétrole brut à haute pression traversant le campus étaient très vulnérables aux tremblements de terre prévus. Plusieurs scénarios catastrophes ont été étudiés, ainsi que des mesures d'atténuation. D'après des estimations du rapport coût-avantages, il a été décidé à la fois de reconstruire certains locaux scolaires et d'en déplacer d'autres.

Enfin, il convient de signaler le cas particulier du Royaume-Uni où les bâtiments scolaires semblent davantage menacés par les incendies volontaires que par des catastrophes naturelles. On a enregistré en moyenne annuelle, au cours des dix dernières années, pour 45 millions de livres de dégâts dus à des incendies d'école (volontaires dans 70 % des cas). Ce phénomène, ajouté aux nouvelles menaces d'actes terroristes, montre la nécessité de stratégies d'atténuation beaucoup plus ambitieuses (comportant en outre des éléments moraux et politiques) qui sortent manifestement du cadre de notre étude.

La vulnérabilité propre aux écoles

Parmi les caractéristiques structurelles et non structurelles des bâtiments qui déterminent une vulnérabilité structurelle en général, certaines sont observées plus fréquemment dans les bâtiments scolaires. Voici une liste brève et nécessairement incomplète de ces caractéristiques particulières des écoles.

Tout d'abord, les bâtiments scolaires (comme les autres bâtiments publics) sont utilisés plus longtemps que les habitations privées. Cela signifie que beaucoup d'entre eux ont été conçus et construits il y a longtemps, selon des techniques peu satisfaisantes : une réglementation ancienne (voire inexistante) et l'utilisation de matériaux et de méthodes d'une autre époque ont tendance à accroître la vulnérabilité aux catastrophes naturelles.

Plus précisément, les systèmes de toiture peuvent être facteurs de vulnérabilité, même dans le cas des bâtiments scolaires bas :

- Les toits lourds (couches d'adobe ou lourds blocs de béton armé préfabriqués) caractérisent souvent les bâtiments scolaires endommagés par les tremblements de terre.
- Les toits en bois mal fixés peuvent d'une part permettre une poussée supplémentaire sur les murs longitudinaux (non renforcés) des locaux scolaires sans, d'autre part, assurer une protection suffisante contre le vent.

Dans le cadre des programmes de construction scolaire de grande envergure à l'échelon national, on utilise plus fréquemment des éléments préfabriqués, avec les conséquences négatives que cela peut avoir faute d'une ductilité suffisante entre les éléments préfabriqués.

Les caractéristiques structurelles de certains bâtiments scolaires sont dictées par des considérations architecturales/fonctionnelles :

- des murs longs (et souvent non renforcés) peuvent être vulnérables à un vent violent et également présenter une résistance transversale insuffisante en cas de séisme ;
- des petites colonnes (en béton armé) entre de longues fenêtres qui se suivent sont extrêmement fragiles en cas de séisme.

Les nouveaux bâtiments scolaires peuvent se trouver à la périphérie des villages où le sol risque d'être instable (avec des risques de glissement de terrain).

Enfin, comme c'est souvent le cas dans les pays en développement, on utilise des méthodes de construction improvisées, parfois sans aucun contrôle de la part de professionnels.

Par ailleurs, la densité d'occupation des locaux scolaires est plus forte que pour toute autre activité collective, à l'exception peut-être des églises, comme le montrent les exemples suivants de taux d'occupation dans la journée (extrait de FEMA 174/1989, « *Establishing Programs and Priorities for the Seismic Rehabilitation of Buildings* ») :

• Habitations permanentes	1.2 occupant pour 100 m ²
• Administrations	4.0
• Hôpitaux	5.0
• Restauration rapide	1.0
• Établissements scolaires	2.0

Le renforcement des bâtiments scolaires en prévision des tremblements de terre

Le présent chapitre ne porte que sur l'un des types de catastrophe naturelle qui menacent les établissements scolaires. L'Europe méridionale et l'Amérique du Sud sont surtout exposées aux risques de séisme, mais une politique de renforcement des bâtiments face à cette menace peut également prendre en compte les autres risques de catastrophe naturelle.

Concept général de renforcement : mesures préalables d'atténuation des risques pour les bâtiments

On peut prendre des mesures destinées à atténuer les risques liés aux séismes en intervenant directement au niveau des structures et également par d'autres moyens :

- la prédiction, la prévision et les avertissements (cela est possible surtout pour les risques liés aux intempéries, par exemple pour les cyclones et les feux de brousse ou incendies de forêt) ;
- la préparation (un excellent programme – « la sécurité à l'école » – a été lancé à l'échelon national en Italie en 1993) ;
- la réparation des éléments non structurels (autre point très important pour les bâtiments scolaires par rapport aux tremblements de terre) ;
- le renforcement structurel ;
- la démolition et reconstruction partielle (ou totale) ;
- le déplacement du bâtiment.

On n'examinera ici, et très brièvement, que les mesures de renforcement structurel et non structurel en prévision d'un tremblement de terre.

Le « renforcement » non structurel

« Si le tremblement de terre de Northridge (1994) s'était produit un jour d'école, des milliers d'écoliers de Los Angeles auraient été sérieusement, voire grièvement blessés par des éléments non structurels (comme la chute d'appareils d'éclairage) ». Cette déclaration de la FEMA souligne l'importance d'une étude intitulée « Risques non structurels liés aux séismes dans les écoles » (FEMA 241/juillet 1993) publiée un an avant le tremblement de terre de Northridge.

Voici un exemple de mesures de renforcement concernant les éléments non structurels : à l'université de Berkeley (Californie), même des bâtiments considérés comme « satisfaisants », selon l'évaluation de 1997, peuvent subir des dégâts considérables, du point de vue de leur contenu et sur un plan non structurel. Les livres, instruments, matériel de recherche et œuvres d'art – tous éléments très susceptibles d'être endommagés et indispensables à la mission d'enseignement et de recherche de l'université – représentent un tiers de la valeur de remplacement du campus. Cela ajoute une dimension « commerciale » aux estimations traditionnelles des pertes pour les universités.

Un autre exemple est celui des 5 500 bâtiments que possède le *Los Angeles Unified School District*, auquel la FEMA a accordé 162 millions de dollars pour des mesures de renforcement, ces crédits devant notamment financer l'installation d'un système d'éclairage sûr.

Le réaménagement structurel ou la reconstruction des bâtiments scolaires aux États-Unis

On peut citer un autre exemple important de renforcement antisismique des locaux scolaires qui remonte à 1933, dans le cadre de la loi Field. La population locale était très inquiète des conséquences du tremblement de terre de Long Beach (mars 1933, $M = 6.3$). En effet, 75 % des écoles publiques avaient été très endommagées et un grand nombre d'entre elles totalement détruites. Un mois seulement après, les organes législatifs ont adopté une loi rendant obligatoire le contrôle par l'état de la construction des écoles publiques (loi Field, du nom de son auteur). Un autre texte de loi, la loi Garrison (1939) prévoit des mesures correctives à prendre par les autorités scolaires pour les locaux existants sur une période de 30 ans, sinon ceux-ci doivent obligatoirement être remplacés ou reconstruits. Dans l'état de Californie, 7 400 écoles publiques et 110 collèges communautaires accueillant cinq millions d'élèves ont été construits ou reconstruits suivant les dispositions de la loi Field (le montant non actualisé des dépenses effectuées entre 1935 et 1985 est de 11 milliards de dollars)¹.

L'importance de ce projet remarquable a été confirmée lors du tremblement de terre de San Fernando (1971, $M = 6.6$). « Les bâtiments scolaires situés dans la région où les secousses sismiques ont été fortes et qui avaient été conçus et construits depuis l'adoption de la loi Field n'ont PAS subi de dégâts qui auraient sinon été dangereux » (Commission conjointe sur le tremblement de terre de San Fernando,

NAS, Washington, 1971). Toutefois, lors des séismes de l'Imperial County (M = 6.6, 1979) et de Coalinga (M = 6.7, 1983), des bâtiments répondant aux normes de la loi Field ont subi des dégâts non structurels.

Le bilan de la loi Field en Californie montre que les bâtiments anciens nécessitaient des réaménagements coûtant en moyenne l'équivalent de 70 % du coût de remplacement d'un nouveau bâtiment.

D'une façon plus générale, il faut insister sur l'importance de projets conçus et contrôlés par l'État en ce qui concerne le renforcement des locaux scolaires – même dans un contexte économique plus libéral tel que celui des États-Unis. Le cadre à long terme dans lequel l'optimisation du rapport coût-avantages doit être recherchée et les intérêts plus généraux de la société en jeu (difficilement quantifiables en termes monétaires) signifient que les mécanismes d'économie de marché n'ont guère de chances d'être efficaces. Le *Earthquake Engineering Research Institute* (États-Unis) est allé jusqu'à dire que « nous hésiterions beaucoup à confier la sécurité de nos écoles à des autorités locales connues pour leur manque de rigueur dans l'application des règlements » (EERI, rapport d'octobre 1998).

Considérons maintenant quelques autres exemples de renforcement de locaux scolaires aux États-Unis, et plus précisément, le cas de bâtiments universitaires.

- Réaménagement en prévision de tremblements de terre, Université de Santa Barbara, Californie : l'immeuble de North Hall (bâtiment de trois étages en béton armé construit en 1960) a été conçu en ne respectant qu'un dixième des normes de 1958, d'où un degré d'insécurité incompatible avec les normes antisismiques strictes de l'UBC (1975). Le coût des travaux de réaménagement en 1976 a été de 120 dollars par m², à rapprocher d'un coût de remplacement (1976) de 600 dollars par m². Ce coût de 20 % est un chiffre raisonnable si l'on considère que les coûts de réaménagement peuvent parfois atteindre 50 %.

Le tremblement de terre de Santa Barbara en 1978 a causé 4 millions de dollars de dégâts aux bâtiments non réaménagés du campus, mais aucun dégât au bâtiment renforcé de North Hall !

- Université d'état de San Francisco : le bâtiment administratif de six étages construit en béton armé au début des années 1970 a été conçu à l'origine conformément aux normes de la fin des années 60 (5 % de charge latérale). Une armature d'acier non rigide a été retenue comme option de réaménagement antisismique la plus efficace, et elle a été ajoutée et reliée aux structures extérieures existantes en béton armé, et conçue pour assurer la résistance latérale voulue (0,4 g), en évitant la friabilité des colonnes en béton armé et en permettant l'utilisation de méthodes de renforcement qui ne perturbaient pas la conduite normale des activités dans le bâtiment et n'obstruaient pas les fenêtres. Ce projet a été achevé au début de 1998.

La FEMA et l'Université de Californie à Berkeley ont financé l'élément recherche et développement de l'initiative *Universités préparées aux catastrophes naturelles* visant à motiver les universités et à leur permettre de gérer leur vulnérabilité aux risques en utilisant un modèle susceptible d'être adapté et appliqué par d'autres établissements :

- évaluation des risques ;
- estimation des pertes directes et autres effets économiques ;
- plan de gestion stratégique des risques ;
- programme de résistance aux catastrophes ;
- progrès dans le sens d'un financement national des mesures d'atténuation des risques dans les universités.

Le rapport 2000 de l'université sur la question passe en revue les projets de renforcement des bâtiments du campus :

- d'après une étude sismique réalisée en 1978, un certain nombre de bâtiments ont été renforcés (notamment le University Hall) ;
- dès 2006, dix autres grands bâtiments centraux auront été renforcés contre les tremblements de terre ;
- 15 autres bâtiments doivent être réaménagés en prévision de tremblements de terre d'ici à 2011.

L'actuel projet sur une durée de 20 ans coûtera 1 milliard de dollars. Il convient de signaler tout à la fois les sacrifices économiques consentis par la génération actuelle pour la suivante et le pragmatisme du calendrier adopté à Berkeley.

Le renforcement des bâtiments scolaires dans certains pays en développement

L'évaluation préalable des risques, la stratégie de renforcement, le financement et l'exécution des mesures sont autant d'éléments qui nécessitent des compétences et des moyens économiques considérables, qui ne sont pas à la portée de tous les pays. Mais un certain nombre de pays, indépendamment de leur niveau de développement, ont pris des mesures pour renforcer les bâtiments scolaires. En voici quelques exemples.

Chypre

Tout d'abord, une inspection visuelle de tous les locaux scolaires a eu lieu en 1999 et l'on a conclu que 13 écoles devaient faire l'objet d'une intervention immédiate. Les travaux sont en cours. Des principes directeurs ont été ultérieurement établis par une commission nationale pour vérifier les degrés de vulnérabilité et déterminer des méthodes de renforcement, aussi bien pour les écoles que pour les logements des réfugiés. Enfin, on a lancé un programme quinquennal de travaux de réhabilitation moins prioritaires.

Mexique

Certaines écoles conçues dans les années 1960 et 1970 ont été légèrement endommagées lors du tremblement de terre de Mexico (Michoacan). On a réaménagé certains bâtiments scolaires en y ajoutant des systèmes de soutien post-contraints composés de tiges d'acier précontraintes très flexibles (systèmes de soutien portant uniquement sur la tension). Il est également prévu d'isoler les fondations d'autres écoles sur la côte pacifique du Mexique.

Le réaménagement des bâtiments scolaires contre les risques d'ouragan

On trouvera ci-après deux exemples concernant les risques liés aux ouragans dans des régions moins développées.

Caraïbes (USAID-OEA, Projet d'atténuation des risques de catastrophe naturelle dans les Caraïbes, avril 1998)

La faculté de droit Norman Manley (un bâtiment en béton armé de deux étages, d'une superficie de 700 m² avec une toiture métallique ajourée) a été construite en 1974-75. Toutefois, rien n'indique que ce bâtiment ait été conçu de façon à pouvoir résister aux ouragans ou aux tremblements de terre. L'ouragan Gilbert (9 décembre 1988) a sérieusement endommagé le toit du bâtiment en raison :

- de la mauvaise fixation des planchers ;
- de l'affaiblissement du matériau du toit dû à la pluie ;
- du mauvais fonctionnement d'une fenêtre à claire-voie, qui a laissé passer le vent (ce qui a accru la pression ascendante exercée sur les planches de la terrasse du toit).

Un chef de projet a été chargé par l'université de superviser les activités de construction, mais aucune instruction ferme n'a été donnée quant à la nécessité d'assurer une résistance aux catastrophes naturelles, alors qu'une légère majoration (15 %) des coûts de reconstruction aurait suffi à couvrir les coûts des mesures supplémentaires d'enquête et de vérification nécessaires.

Antigua et Barbuda : plan national visant à réduire la vulnérabilité des écoles

Il a été décidé de réaménager (en prévision d'ouragans, d'inondations et de tremblements de terre et pour servir d'abris) 30 écoles primaires publiques et neuf écoles secondaires (construites il y a plus de 20 ans). Le ministère de l'Éducation nationale et le ministère des Travaux publics ont commencé des travaux de réhabilitation dans 20 écoles construites avec les matériaux les plus divers (bois, maçonnerie renforcée, béton armé et simple maçonnerie). L'accent a été mis sur un contrôle efficace par les autorités afin de respecter les normes de construction, et sur la nécessité de faire participer pleinement les groupes d'action communautaire à l'élaboration de la politique.

Les politiques de renforcement des écoles existantes

On trouvera ci-après une brève liste des éléments d'un projet régional ou national de renforcement des locaux scolaires.

Le catalogue des bâtiments scolaires existants

Le catalogue des bâtiments scolaires existants comprend des informations sur :

- les matériels structurels ;
- l'âge des bâtiments ;
- l'occupation (nombre d'élèves, horaires) ;

- l'existence de permis de construire ;
- les dégâts et réparations antérieurs ;
- la valeur totale actuelle du bâtiment et de son contenu ;
- les issues de secours, compte tenu du risque considéré.

Les risques de catastrophe et leur degré d'intensité prévu avec une probabilité (empiriquement) acceptable de dépassement de ces degrés

Dans ce contexte, d'autres projets et cartes de zonage nationaux seront utilisés. Il peut toutefois être nécessaire d'ajouter certaines particularités locales telles qu'un microzonage sismique ou une géomorphologie intensifiant les vortex locaux.

Les données sur la vulnérabilité

C'est là la partie la plus importante et la plus difficile de tout le processus. Le concept de « vulnérabilité », présenté plus haut, est une estimation de la tendance d'un bâtiment à subir des dégâts, structurels ou non, face à un certain type de catastrophe naturelle. On peut l'évaluer sur la base de critères purement empiriques ou (si possible) analytiques. La bibliographie nationale et internationale² offre divers critères de ce type et un certain nombre de méthodes d'estimation de la vulnérabilité, bien qu'une confusion soit parfois faite entre vulnérabilité et risque.

L'évaluation du risque relatif

La méthode la plus simple serait celle décrite plus haut dans « Techniques d'évaluation des risques », mais le choix de valeurs appropriées pour les « facteurs importants » pose un autre problème. Cependant, faute de données bibliographiques, un simple jugement technique peut suffire étant donné qu'il n'est pas toujours possible d'obtenir des valeurs absolues pour les coûts globaux d'une défaillance. C'est pourquoi nous parlons d'évaluation du risque « relatif ».

L'étude pilote de l'évaluation des risques

Avant toute application générale à l'échelon national, il est conseillé d'effectuer une étude pilote dans un certain nombre de bâtiments scolaires précédemment concernés par le risque considéré, endommagés et réparés – des données étant disponibles sur le coût des réparations et le temps pendant lequel l'établissement n'a pu fonctionner (y compris, le cas échéant, le temps pendant lequel les locaux n'ont pas pu être utilisés comme abri). Les « valeurs de risque relatif » estimées au moyen de la technique simple décrite plus haut peuvent être calibrées par rapport au « risque réel » (coût) rencontré, et la méthode peut être corrigée comme il convient. On peut aussi procéder à un calibrage au moyen de méthodes numériques plus complexes et précises.

La prise de décision

Tout d'abord, il faut signaler un certain nombre de désincitations au renforcement des bâtiments scolaires :

- les priorités fixées en fonction de valeurs sociales/politiques peuvent être mal définies (politique à courte vue du type « moi d'abord, et tout de suite ! ») ;
- les obstacles au niveau du financement et de l'organisation ;
- les difficultés techniques telles que les obstacles au diagnostic, le manque de compétences, les responsabilités professionnelles disproportionnées ;
- d'éventuels problèmes juridiques.

Une discussion franche de ces difficultés et des autres obstacles doit être engagée au sein de la direction des écoles et des collectivités locales.

Ensuite, des pressions politiques systématiques doivent être exercées à partir de la base (par plusieurs communautés locales) avant que l'on puisse raisonnablement espérer des décisions du gouvernement central. Les priorités relatives au financement de l'État ne sont pas fixées par des calculs mathématiques effectués au ministère des Finances, mais résultent de marchandages politiques, parfois à la suite d'une catastrophe locale, si regrettable que cela puisse être à tous égards.

Enfin, il faut agir aux deux niveaux, en ce sens que des plans locaux et nationaux doivent être établis, même si le financement n'est pas assuré. Tout en attendant des plans nationaux, les municipalités devraient préparer leurs propres plans pour les bâtiments scolaires – réhabilitation face aux risques existants et éventuels scénarios, notamment :

- les priorités concernant certaines catégories de locaux scolaires ;
- les diverses sources de financement ;
- les divers horaires – à cet égard, le pragmatisme s'impose ;
- la gestion de la programmation, de la conception, du choix des entrepreneurs ;
- la supervision et l'entretien – il convient d'imposer un très haut degré d'assurance de la qualité ;
- le choix d'au moins un bâtiment scolaire à renforcer avec des fonds d'origine locale, des bureaux d'étude locaux et des entreprises de construction locales, à titre d'initiative pilote (pour motiver toutes les parties concernées et témoigner de leur détermination).

Les plans locaux devraient toutefois être adaptés aux plans nationaux une fois ceux-ci finalisés.

L'exécution

En fonction de l'ampleur du plan (local ou national), diverses formes d'organisation seront proposées, les pratiques normales devant être suivies. Toutefois, d'un point de vue plus technique, il est très important que l'on ne confie pas exclusivement aux concepteurs le soin de choisir les paramètres fondamentaux (liés à la sécurité et à la qualité). Il faut plutôt que les autorités locales, régionales ou nationales diffusent des documents d'orientation sur les paramètres suivants de re-conception :

- la prise en compte d'un risque socialement acceptable de dépassement du degré d'intensité prévu d'une catastrophe naturelle ;

- le niveau de performance prévu à ce degré d'intensité ;
- le degré de risque lié à la nouvelle conception (dégâts légers, protection des vies humaines et dégâts réparables, état proche de l'effondrement).

Grâce à ces deux normes combinées, le propriétaire des bâtiments scolaires a véritablement la possibilité de s'adapter aux impératifs du moment, par exemple les fonds disponibles et l'importance sociale de chaque bâtiment scolaire. Sinon, des normes trop ambitieuses peuvent s'avérer impossibles à respecter pour la génération actuelle, tandis que l'absence de normes risque d'encourager des attitudes opportunistes (« au moins, nous avons fait quelque chose ») pour satisfaire l'opinion publique.

De plus, les autorités devraient fixer les critères à utiliser pour choisir des techniques de renforcement qui soient appropriées et réalistes dans une région caractérisée par un certain degré de développement et disposant de certains matériaux et capacités d'exécution donnés (voir par exemple le Code de construction européen E8, partie 1–4). En établissant ces plans, il peut être utile de disposer de certains documents et sources d'information. On en trouvera ci-dessous une liste indicative.

Références

- Arya, A.S. (1987), *Protection of Educational Buildings against Earthquakes*, UNESCO, Bangkok.
- Benedetti, D. et M.A. Parisi (1988), « Seismic Vulnerability and Risk Evaluation for Old Urban Nuclei », *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, John Wiley & Sons Ltd, Royaume-Uni, vol. 16.
- FEMA 174 (mai 1989), *Establishing Programs and Priorities for the Seismic Rehabilitation of Buildings*.
- FEMA 198 et 199 (septembre 1990), *Financial Incentives for Seismic Rehabilitation of Hazardous Buildings*.
- FEMA 254 (août 1994), *Seismic Retrofit Incentive Programmes: A Handbook for Local Governments*.
- FEMA 275 (mars 1998), *Societal Issues in Planning for Seismic Rehabilitation*.
- Gavarini, C., L. Sanpaolesi et M.Z. Beconcini (1990), *A Method for Surveying the Seismic Vulnerability of Existing R.C. Buildings*, Proceedings of the 9th European Conference on Earthquake Engineering, Moscou.
- HAZUS (1999 et ultérieurement), Program for Assessment of Seismic Risk, National Institute of Building Sciences/Federal Emergency Management Agency, États-Unis.
- Hirosawa, M., S. Sugano et T. Kaminosono (octobre 1994), « Seismic Evaluation Methods and Restoration Techniques for Existing and Damaged Buildings Developed in Japan », Building Research Institute (BRI), Ministry of Construction.
- Jephcott, D.K. (1985), *50 year Record of Field Act Seismic Building Standards*, Office of the State Architect, Sacramento, Californie, États-Unis.
- Mileti, D. (1999), *Disasters by Design. A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Joseph Henry Press, Washington.

Tassios, T.P. (1985), *School Buildings Resistant to Earthquakes*, UNESCO, Paris.

Tassios, T.P. (1995), *The Vulnerability Concept Revisited*, 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE).

Tassios, T. P. et M. Chronopoulos (1993), *School Buildings. Relative Seismic Risk Evaluation*, R.C. Laboratory, National Technical University, Athènes.

UNESCO (1976), « Influence of Natural Disasters on Educational Facilities » (document).

Sites Web

Asian Disaster Reduction Center, Japon : www.adrc.or.jp

Base de données de l'OCDE : www.oecd.org

Department of Education, État-Unis : www.ed.gov

DIS Inc. [Seismic Isolation] : www.dis-inc.com

Earthquake Engineering Research Institute (EERI), États-Unis : www.eeri.org

EQE International Inc., Managing Risks through Engineering, Science, Technology : www.eqe.com

Federal Emergency Management Agency, États-Unis : www.fema.gov/MIT

INCEDE, University of Tokyo, Japon : www.incede.iis.u-tokyo.ac.jp

Joint Research Center, European Union, Ispra (Italie) [Évaluation des risques] : www.jrc.cec.eu.int

Los Angeles Unified School District, États-Unis : www.lausd.k12.ca.us

National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley, États-Unis : www.eerc.berkeley.edu

National Oceanic and Atmospheric Administration, États-Unis : www.ncdc.noaa.gov/ol

Natural Hazards Center, University of Colorado, États-Unis : www.colorado.edu/hazards

Organisation of American States, Caribbean Disaster Mitigation Project : www.oas.org/en/cdmp

Swiss Reinsurance Company, SIGMA : www.swissre.com/portal

USGS, National Landslide Information Center : www.geohazards.cr.usgs.gov

Remerciements

L'auteur tient à remercier F. Boukias (de l'administration grecque responsable des bâtiments scolaires) et W. Holmes (Rutherford et Chekene, États-Unis).

Notes

1. Autres lectures :

- a) Jephcott, D.K., « 50 years of Field Act Seismic Building Standards for California Public Schools », *Seismic Safety Commission Report*, Sacramento, 1984.
- b) « The Field Act and California Schools », *State Safety Commission*, 1979.

2. Voir aussi « Références » et « Sites Web » ci-dessus.

Chapitre 2

Le rôle des écoles dans la création d'un environnement plus sûr en cas de séisme

par

Rajib Shaw

Earthquake Disaster Mitigation Research Centre (EDM), Miki, Japon

et

Masami Kobayashi

Centre des Nations Unies pour le développement régional (CNUDR)

Disaster Management Planning Hyogo Office, Kobe, Japon

Introduction

Les séismes font partie des catastrophes naturelles les plus destructrices et sont susceptibles de causer de nombreux types de dommage, notamment d'ordre matériel, socio-économique et culturel. Bien que les préjudices les plus directs pour les victimes soient le décès et les dégâts causés aux bâtiments et aux infrastructures sociales, d'autres types de préjudice peuvent être à l'origine de troubles sociaux et aggraver le seuil de pauvreté. Les séismes ont une influence déterminante sur les phases de développement d'un pays et dans de nombreux cas, il a été constaté qu'un seul événement avait eu une influence considérable sur le produit intérieur brut. Vivre dans un environnement sûr est un besoin humain fondamental. Dans les pays en développement, il importe, pour assurer la durabilité du processus de développement, d'accorder une attention particulière à la prévention et à l'atténuation des dégâts avant que la catastrophe ne se produise. Il est primordial à cet égard de concevoir une formation scolaire adéquate et de prévoir les risques et les conséquences d'un séisme.

Le programme de planification de la gestion des catastrophes (DMP – Disaster Management Planning) du CNUDR a été lancé en 1985. Les avancées du développement régional ont permis de mettre en place un cadre de vie meilleur et plus sûr, mais elles ont également accru la vulnérabilité de l'environnement aux risques naturels. Les projets de formation et de recherche qui relèvent du programme ont pour but d'aider les collectivités locales, les organisations non gouvernementales et les établissements universitaires à mettre en place des partenariats assurant la gestion des catastrophes en collaboration avec les collectivités locales des pays en développement. L'objectif de ce programme est double : 1) accroître la capacité des collectivités à élaborer et à mettre en œuvre des plans de gestion des catastrophes et 2) sensibiliser davantage l'opinion aux risques naturels.

L'Initiative pour la sécurité dans les écoles en cas de séisme (appelée ci-après SESI, School Earthquake Safety Initiative) a pour but de favoriser l'initiative personnelle et l'éducation en matière d'atténuation des dégâts, en bâtissant des collectivités sûres et durables. Cette initiative attache une importance essentielle à l'approche participative dans le cadre du développement des collectivités et au renforcement des capacités au sein de la population locale. Le Japon, ainsi que d'autres pays de par le monde, a reconnu que les écoles constituaient un élément essentiel de la participation de la collectivité. D'une part, les écoles dispensent une éducation aux enfants, mais d'autre part, les écoles solides servent de refuge d'urgence immédiatement après un séisme. Cette initiative visant à renforcer le rôle des écoles a permis d'élaborer un programme de formation orienté vers la collectivité et destiné à diffuser les connaissances en matière de technologies parasismiques, héritées de la culture

traditionnelle. Le présent document fait brièvement le point sur la SESI et décrit sommairement les activités entreprises dans différents pays.

Pourquoi accorder une telle importance aux écoles ?

La prochaine décennie connaîtra une transformation spectaculaire de la structure socio-économique des pays en développement, car nombre d'entre eux passeront d'une économie principalement agricole à une société urbaine s'appuyant sur le secteur industriel. L'urbanisation rapide de ces pays est due à leur politique, qui favorise la croissance industrielle et urbaine. Cette politique trop favorable à l'urbanisation a encouragé les migrants à affluer dans les villes pour bénéficier de conditions économiques relativement meilleures. Néanmoins, les villes n'ont pas donné les moyens aux régions urbaines d'absorber une population citadine en augmentation croissante et de proposer suffisamment d'emplois et de services. Ainsi, dans la plupart des villes des pays en développement, des agglomérations spontanées se multiplient dans la périphérie urbaine. Cette pression démographique combinée à de nombreux autres facteurs est à l'origine de constructions inadaptées. De nombreux bâtiments importants, comme des écoles, sont construits dans la hâte sans tenir compte des normes parasismiques, augmentant ainsi la vulnérabilité de la population aux séismes. La Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN/1990-1999) a grandement contribué à sensibiliser davantage diverses collectivités aux risques et aux conséquences des catastrophes naturelles. On remarque une nette évolution du stade de la réflexion et de la reconstruction postérieures à la catastrophe vers une politique d'atténuation des dégâts et de préparation antérieure à la catastrophe. Dans le cadre de la stratégie de préparation à la catastrophe, l'accent a été mis sur la consolidation des bâtiments scolaires et la diffusion de connaissances sur les catastrophes.

Les collectivités susceptibles de subir des séismes doivent disposer d'écoles construites selon les normes parasismiques, capables de protéger leurs enfants et les enseignants. En outre, les écoles de ce type peuvent servir de refuge pour l'aide d'urgence et l'accueil des blessés pendant les séismes. De même, la capacité des professeurs à contrôler la situation s'est avérée très utile dans des situations d'urgence. Par conséquent, les écoles peuvent jouer un rôle important dans la formation de la collectivité et la mise en place de partenariats entre les divers groupes qui la composent. Ces tâches sont importantes non seulement pendant la situation d'urgence, mais aussi avant et après celle-ci. Les questions liées à la sécurité dans les écoles sont de divers types. Sur le plan matériel, il s'agit de consolider les écoles et de favoriser le transfert aux collectivités de la technologie en construction parasismique. Sur le plan éducatif, il convient d'informer les élèves, les enseignants et les collectivités. Du point de vue de la socialisation de l'effort, il faut sensibiliser davantage et renforcer les capacités des collectivités. Ces questions sont interdépendantes et doivent être abordées dans une perspective intégrée au sein de la SESI.

Le but et les objectifs de l'Initiative pour la sécurité dans les écoles en cas de séisme (SESI)

Sous l'angle général de la « sécurité humaine », l'objectif de l'initiative est d'accroître la sécurité et la durabilité des moyens d'existence de la population des

pays en développement. Les catastrophes ébranlent tant la sécurité que la durabilité, qu'il soit question de vie humaine ou de moyens d'existence. Pour atteindre le but fixé, l'initiative concentre ses efforts sur le développement de la collectivité et les activités favorisant l'autonomie dans des villes et agglomérations choisies de pays en développement.

Les objectifs généraux de ce projet sont les suivants : (a) transférer à la collectivité le savoir-faire et la technologie en construction parasismique et (b) assurer la capacité de réaction et l'autonomie de la collectivité lors d'une catastrophe. A cette fin, une attention particulière a été accordée aux systèmes scolaires : la vulnérabilité des bâtiments scolaires sera évaluée et techniquement testée et des techniques de mise en conformité *a posteriori* abordables seront proposées. Une autre priorité du projet consistera à élever le niveau de connaissances et la sensibilisation aux séismes.

Le projet compte cinq objectifs directs :

- évaluer la vulnérabilité de bâtiments scolaires sélectionnés dans chaque ville ;
- recommander des projets et des moyens abordables visant à consolider les écoles vulnérables ;
- mettre en conformité une ou deux écoles pilotes en ayant recours à la technologie traditionnelle et locale ;
- former les travailleurs de l'industrie locale de la construction, qui bâtissent les écoles et les logements ;
- préparer du matériel pédagogique traitant des séismes, destiné aux élèves, aux enseignants et aux collectivités et l'utiliser à des fins d'enseignement et de formation.

Les expériences passées ont montré que le manque de formation, de sensibilisation, d'éducation et d'autonomie des collectivités était à l'origine des problèmes fondamentaux en matière d'atténuation et de préparation aux catastrophes dans les pays en développement. Une collectivité bien informée et formée est nettement plus capable d'affronter efficacement une catastrophe naturelle et d'en limiter les conséquences. Autrement dit, la gestion des catastrophes et les efforts déployés en ce sens font incontestablement partie du processus de développement durable des pays en développement. L'initiative actuelle a pour but de promouvoir la culture de la prévention, en encourageant la participation de la collectivité et en lui donnant des moyens adaptés aux besoins spécifiques de la population locale. Plusieurs projets lancés dans les villes et agglomérations sélectionnées sont terminés, tandis que d'autres sont toujours en cours. Ces efforts sont déployés soit par des organisations gouvernementales, soit par des organisations non gouvernementales, et surtout par des organisations internationales. L'initiative actuelle complétera, élargira et soutiendra les efforts en cours. Les bénéficiaires directs en seront les élèves, leurs familles, les enseignants, les autorités scolaires, les ingénieurs locaux, les maçons et les propriétaires. Les bénéficiaires indirects seront les organisations gouvernementales et la communauté dans sa totalité.

Les activités et résultats attendus de l'Initiative

L'Initiative est basée sur des études et enquêtes initiales réalisées par le *Disaster Management Planning Hyogo Office* du CNUDR et a été conçue pour répondre aux priorités

et besoins locaux. Un grand nombre d'acteurs, présentés comme les partenaires, y ont participé. Ces acteurs varient d'un pays à l'autre et comprennent des collectivités locales, des municipalités, des établissements universitaires et des organisations non gouvernementales. L'Initiative comporte deux phases majeures : la phase de préparation et la phase de mise en œuvre.

La phase de préparation

Les activités de cette phase comprennent une étude approfondie des écoles, un projet de mise en conformité *a posteriori* et la conception de matériel pédagogique. Cette phase comporte deux éléments : le premier lié aux bâtiments scolaires et le second au matériel pédagogique. S'agissant des bâtiments scolaires, les activités spécifiques suivantes seront menées :

- une étude préliminaire sur place et une sélection des écoles ;
- une étude approfondie des écoles ;
- un projet détaillé de mise en conformité *a posteriori*, en veillant à utiliser la technologie appropriée ou la technologie traditionnelle améliorée à un coût abordable ;
- des recommandations tirées de l'analyse coût/performance.

Les écoles seront sélectionnées selon les critères suivants :

- l'usage par rapport au nombre d'élèves ;
- la situation par rapport à la vulnérabilité des structures et de la localisation dans l'espace ;
- les types de construction, le respect des normes habituelles de construction ;
- la priorité de la collectivité locale et des partenaires locaux.

Quant au matériel pédagogique, les activités suivantes sont prévues :

- l'étude préliminaire du matériel pédagogique existant traitant des catastrophes ;
- la préparation de brochures préliminaires à l'usage des écoles ;
- la réalisation, dans les écoles, de tests destinés à évaluer le matériel pédagogique préliminaire et l'analyse des réactions des élèves et des enseignants ;
- l'élaboration définitive du matériel pédagogique.

Par conséquent, au cours de cette phase, un prototype de matériel pédagogique est préparé et sa réceptivité est testée. Les résultats initiaux seront diffusés au sein d'ateliers interactifs, organisés à l'échelle locale à différents moments de la phase de préparation.

La phase de mise en œuvre

Le but de cette phase est de préparer un modèle de démonstration incluant une approche participative. Ses principales activités sont : la mise en conformité *a posteriori* des bâtiments scolaires, la formation de maçons et l'utilisation du matériel pédagogique pour sensibiliser davantage les élèves. Les actions suivantes seront entreprises :

- mise en conformité *a posteriori* d'une ou deux écoles pilotes pour chaque plan et budget approuvé ;
- diffusion du matériel pédagogique lors de cours spéciaux organisés dans les écoles, en insistant sur l'importance d'inclure l'éducation aux catastrophes dans les programmes scolaires.

La formation à l'échelle locale relève de cette phase. Les exercices d'alerte aux séismes seront planifiés et réalisés dans les écoles sélectionnées.

Pour mettre les bâtiments scolaires en conformité, on fera appel de diverses façons à des maçons locaux, aux enseignants et aux parents. Un atelier de clôture sera organisé dans chaque ville ou agglomération visée par un projet, dans le but de diffuser les résultats auprès d'un public plus large et d'assurer la durabilité des efforts parmi les partenaires locaux.

Les résultats attendus sont de deux ordres : sur le plan matériel, les bâtiments scolaires seront mis en conformité et sur le plan social, les collectivités locales seront capables de réagir aux séismes. Les bâtiments scolaires reconstruits et le programme de formation associé serviront de modèles pour les collectivités des autres régions du pays, qui veulent se préparer aux catastrophes. Par ailleurs, l'éducation des élèves et l'usage du matériel pédagogique permettront de diffuser la culture de la prévention des catastrophes et de soutenir son application dans les collectivités par l'intermédiaire des enfants, des enseignants et des membres de la collectivité. L'initiative actuelle devrait accroître la sensibilisation à différents niveaux. On peut concevoir que ce projet à long terme puisse donner naissance à un modèle général de formation des collectivités et de renforcement des capacités de préparation aux catastrophes.

Les villes concernées par le projet

Cinq villes ont été choisies pour mettre ce projet en œuvre. Il s'agit de Bandung et Bengkulu (Indonésie), Chamoli (Inde), Katmandu (Népal) et Tashkent (Ouzbékistan). Bien que la taille et la population de ces villes varient, la plupart ont payé un lourd tribut en ressources humaines et en infrastructures matérielles lors de séismes. Malgré les dommages causés par les secousses sismiques et le manque apparent de préparation à divers niveaux, les institutions à l'échelon local, régional et national ont manifesté leur intérêt et leur enthousiasme pour les activités de prévention. C'est ainsi que plusieurs programmes sont actuellement mis en œuvre dans ces villes, qui ont des priorités différentes. Trois d'entre elles, à savoir Bandung, Tashkent et Katmandu, ont participé au projet RADIUS de la DIPCN des Nations Unies (on trouvera à la section suivante une description plus détaillée du projet RADIUS).

Un violent séisme de magnitude 7.9 sur l'échelle de Richter a frappé Bengkulu en juin 2000. La région se trouve dans une zone d'activité sismique et on peut prévoir d'autres séismes de magnitude plus élevée dans cette région. Bien que plus d'un an se soit écoulé depuis le séisme, les travaux de réfection et de reconstruction ne sont pas achevés. L'initiative qui a été proposée dans cette ville sera un projet de démonstration pilote, qui veillera à l'intégration des travaux de réfection des bâtiments et des techniques d'atténuation des risques en cas de séisme.

Bandung a fait l'objet d'une étude de cas dans le cadre du projet RADIUS de la DIPC des Nations Unies, qui a pour but de sensibiliser davantage les collectivités locales et de renforcer leurs capacités. A cet égard, la priorité du projet sera de mener une campagne éducative. Grâce au projet de l'UNESCO et au projet *Indonesian Urban Disaster Mitigation Project* (IUDMP), la vulnérabilité de certains bâtiments scolaires a été évaluée et une campagne éducative préliminaire a démarré. Ces tâches ont été entreprises en étroite collaboration avec la municipalité de Bandung et le CNUDR a joué le rôle de conseiller dans chacun des projets. Le principal objectif de l'initiative actuelle entreprise à Bandung est d'intégrer les résultats des activités précitées dans un programme général de formation destiné aux élèves et aux collectivités locales.

Chamoli est située dans le nord de l'Inde, au pied de l'Himalaya. La région est souvent secouée par de violents séismes, parfois dévastateurs, dont le plus récent s'est produit au début de 1999. Les écoles et les habitations les plus courantes sont construites en maçonnerie de pierres et sont recouvertes de toits d'ardoise relativement lourds, et la construction de bâtiments en maçonnerie de briques non renforcées commence à se répandre. Dans le cadre de la SESI, plusieurs écoles de deux types de construction différents seront sélectionnées. Grâce à cette initiative, la technologie traditionnelle qui a fait ses preuves de longue date et la nouvelle technologie moderne adaptée et abordable seront enseignées dans le cadre d'un programme de formation visant à réaménager les bâtiments scolaires existants.

L'histoire du Népal est jalonnée de nombreux séismes dévastateurs. Au cours du xx^e siècle uniquement, quatre grands séismes ont causé la mort de plus de 11 000 personnes. Dans les écoles de la vallée de Katmandu, les enfants sont particulièrement vulnérables aux risques liés aux séismes. Une étude récente du programme *Kathmandu Valley Earthquake Risk Mitigation Programme* (KVERMP) a révélé que la majorité des 644 bâtiments scolaires du secteur public ne satisfaisaient pas aux normes de sécurité et devaient être mis en conformité. Les techniques actuelles de construction des écoles ne prévoient pas l'intégration d'éléments parasismiques. De plus, aucune de ces écoles publiques ne dispose de plan de réaction en cas d'urgence. L'initiative en cours veillera en priorité à organiser pour les maçons locaux une formation en construction parasismique sans plan d'ingénieurs et à élaborer des plans de gestion des risques pour les écoles.

La ville de Tashkent est située dans une des zones de l'Ouzbékistan les plus sujettes aux séismes et a connu plusieurs tremblements de terre. Une analyse préliminaire du risque de séisme à Tashkent révèle que plus de 25 % des bâtiments scolaires pourraient être complètement détruits et 30 % gravement endommagés, si un séisme de magnitude 6.5 survenait. La situation est aggravée par l'absence de méthodes simples et efficaces permettant d'élever la sécurité des bâtiments scolaires existants en cas de séisme. La formation des responsables de l'administration des écoles, destinée à favoriser un usage adéquat des bâtiments scolaires dans les régions touchées par les tremblements de terre, et l'élaboration de matériel pédagogique décrivant le comportement à adopter avant, pendant et après un séisme permettront de sensibiliser davantage les élèves, les enseignants et les collectivités locales.

Comme la description ci-dessus le révèle, la perspective et les besoins locaux diffèrent d'une ville à l'autre. C'est pourquoi lors de l'élaboration des activités de chaque ville, il est tenu compte des priorités et des problèmes locaux. Dans certaines villes, la mise en conformité *a posteriori* des écoles est une priorité, tandis que d'autres privilégient la formation et le renforcement des capacités des maçons ainsi que l'éducation aux catastrophes des enfants, des enseignants et des parents. Les niveaux d'intervention varient également selon les villes.

La diffusion du concept de la SESI

Le concept de la SESI n'a pas été créé pour être appliqué à un niveau précis ou dans une région déterminée. Il peut donc être mis en œuvre n'importe où et pour n'importe quel type de catastrophe. Après le récent séisme de Gujarat en Inde (26 janvier 2001), la préfecture de Hyogo au Japon a lancé une campagne d'appel de fonds auprès des citoyens de Hyogo et a récolté 1.7 million de dollars américains. Cette préfecture avait été dévastée par un séisme en 1995 et pendant la catastrophe, la population avait trouvé temporairement refuge dans de nombreuses écoles. Celles-ci jouent un rôle très important dans le scénario de la gestion des catastrophes au Japon. C'est pourquoi la préfecture de Hyogo a soutenu avec enthousiasme le concept de la SESI en Inde, en faveur des victimes du séisme de Gujarat.

L'objectif général du projet proposé est de mettre en œuvre le programme général de formation pour la prévention des séismes et de renforcement des capacités, destiné à favoriser le développement des collectivités et la durabilité à long terme. Une attention particulière sera accordée au système scolaire et aux techniques de construction sans plan d'ingénieurs à Gujarat et dans d'autres régions de l'Inde. La tâche comportera les actions suivantes :

- la construction de nouvelles écoles ;
- le réaménagement des écoles endommagées ;
- la formation, la diffusion des connaissances ;
- l'élaboration de matériel pédagogique destiné aux élèves ;
- le suivi et l'évaluation des activités.

Dans le cadre de ce projet, dix écoles seront construites, reconstruites et/ou mises en conformité. Un document pédagogique sera élaboré à l'intention des élèves. Les bénéficiaires directs du programme de formation et de mise en conformité *a posteriori* des écoles seront les élèves, leurs familles, les enseignants, les autorités scolaires, les ingénieurs et les maçons locaux. Les bénéficiaires indirects seront les organisations gouvernementales et non gouvernementales, ainsi que la collectivité dans son ensemble.

Conclusion

La SESI recourt aux principes élémentaires de la prévention des catastrophes : l'initiative personnelle, la coopération et l'éducation. Elle tend à assurer un avenir durable à la population grâce à la participation de la collectivité au niveau adéquat. La mise en conformité *a posteriori* des écoles, la formation des maçons, la sensibilisation

de différents secteurs et l'éducation aux catastrophes sont des éléments de cette initiative. Elle n'est pas limitée à une région, à un type de risque ni à une échelle d'application et peut donc être appliquée à un large éventail de catastrophes. La SESI devrait, espérons-le, devenir un modèle général de prévention réussie des catastrophes au niveau des collectivités locales.

Chapitre 3

L'Initiative RADIUS des Nations Unies (Outils d'évaluation pour la préparation des zones urbaines aux risques sismiques)

par

Etsuko Tsunozaki

Secrétariat des Nations Unies pour la stratégie internationale
de prévention des catastrophes naturelles (ISDR),
Genève, Suisse

Préambule

Malgré nos efforts communs pour réaliser l'ambition de la Stratégie internationale de prévention des catastrophes naturelles (ISDR)¹, c'est-à-dire créer partout dans le monde des sociétés capables de résister aux catastrophes naturelles, la tâche reste plus rude et plus pressante que jamais. Le nombre de catastrophes naturelles augmente, et celui de leurs victimes aussi.

Le Secrétaire général des Nations Unies, Kofi Annan, nous rappelle que « nous devons [...] passer d'une culture de réaction à une culture de prévention. Les organismes humanitaires font un travail remarquable en cas de catastrophe. Mais le plus important à moyen et à long terme est de renforcer et d'étendre les programmes qui visent avant tout à réduire le nombre et à atténuer la gravité des catastrophes naturelles. Prévenir n'est pas seulement plus humain que guérir ; c'est aussi beaucoup plus économique ». Voilà un principe qui devrait être mis en pratique avec un sentiment d'urgence croissant.

Les catastrophes naturelles ne frappent pas certaines régions plutôt que d'autres, pas plus qu'elles ne font le tri entre pays développés et pays en développement. Il n'empêche que les bilans en sont beaucoup plus lourds dans les pays en développement, particulièrement en termes de vies humaines, ou en termes économiques quand on en évalue le coût en pourcentage du produit national brut. Diverses études des Nations Unies ont démontré que 97 % des victimes de catastrophes naturelles vivent dans des pays en développement. La Banque mondiale a pu établir que le coût économique des catastrophes naturelles dans les pays en développement, calculé en pourcentage de leur produit national brut, était vingt fois plus élevé que dans les pays développés.

L'importance des dommages provoqués par les tremblements de terre qui ont secoué cette année le Salvador, l'Inde et le Pérou, n'est pas une fatalité. Les risques naturels n'entraînent pas automatiquement, par eux-mêmes, des pertes humaines. Morts et blessés sont, dans une large mesure, victimes de l'effondrement de bâtiments et d'effets secondaires comme les glissements de terrain. S'il est vrai que l'activité sismique mondiale est restée relativement constante sur une courte période, les bilans des tremblements de terre se sont globalement alourdis. La raison de cette augmentation des dommages ne tient pas à notre incapacité à réagir de manière efficace et coordonnée, ni à la pénurie d'équipes de recherche et de secours ; elle est en réalité liée à l'augmentation du nombre de personnes et de biens de toute sorte exposés aux catastrophes naturelles.

La misère est l'un des principaux facteurs de vulnérabilité des conditions d'existence. Mais il y en a d'autres – comme la mauvaise planification de l'occupation des sols, la

mauvaise qualité des infrastructures et des constructions, l'absence de mécanismes institutionnels appropriés de gestion des situations d'urgence et de prévention des risques, sans compter un environnement de plus en plus dégradé, dont le signe le plus manifeste est la déforestation généralisée – qui tous concourent à la tendance actuelle. Les séismes catastrophiques dont nous avons été récemment témoins ont mis en lumière d'autres insuffisances graves dans la démarche de gestion des catastrophes, comme la méconnaissance des risques sismiques par les décideurs, ou la propension qu'ont certains promoteurs immobiliers à utiliser des matériaux et des plans au rabais pour augmenter leurs retours sur investissement à court terme. Le fait que nombre d'écoles, de maisons d'habitation et de bâtiments commerciaux qui se sont effondrés lors du tremblement de terre du Gujarat étaient de construction récente, alors que les bâtiments plus anciens ont tenu bon, est en soi très révélateur. Il démontre clairement la nécessité de construire des bâtiments capables de résister aux catastrophes et de disposer pour cela de normes de construction et des moyens de les faire appliquer.

L'homme peut, par son action et la volonté politique qu'il y met, prévenir les conséquences des catastrophes à venir et éviter des désastres à l'échelle de ceux qu'ont récemment connu l'Inde, le Pérou et le Salvador. Des solutions existent, et les connaissances et la technologie nécessaires à leur mise en œuvre sont très largement disponibles. Ces solutions passent notamment par une bonne planification de l'occupation des sols, associée à une cartographie des zones exposées/à risques ou vulnérables en vue d'implanter les habitations dans les zones sûres, par l'adoption de normes de construction adéquates établies sur la base d'une évaluation des risques sismiques locaux, et par le contrôle de la mise en œuvre de ces plans et de ces normes grâce à des mesures incitatives, économiques ou autres. L'organisation de campagnes régulières de sensibilisation avec la participation active de la population incitera les personnes à vouloir vivre dans un environnement plus sûr. Il faut aussi encourager la recherche scientifique sur les causes de vulnérabilité. Toutefois, on ne pourra pas créer de sociétés capables de mieux résister aux catastrophes sans un engagement à long terme des autorités publiques.

Il est encourageant de constater qu'un changement radical de perspective bouleverse actuellement la façon d'aborder les catastrophes naturelles dans le monde. Les gouvernements et les organisations sont de plus en plus nombreux à promouvoir la prévention des risques comme la seule solution viable à long terme pour réduire le coût social, économique et environnemental des catastrophes naturelles. Ces efforts pluridisciplinaires et intersectoriels ont déjà permis de prévenir avec succès les risques associés aux catastrophes naturelles dans certaines régions du monde. Il est vital que de tels efforts s'intensifient. L'engagement pris par les États membres des Nations Unies en adoptant l'ISDR et en créant une Équipe spéciale interinstitutions et un Secrétariat interorganisations pour en faire progresser les objectifs à partir des résultats de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN/1990-1999) traduit bien le besoin de voir un changement s'opérer.

La mise en œuvre de la Stratégie, qui repose sur la création préalable de partenariats entre les organisations gouvernementales et non gouvernementales, les institutions spécialisées de l'ONU, la communauté scientifique et diverses parties intéressées par la prévention des catastrophes naturelles ne fait pas seulement partie

intégrant des efforts de promotion de ce but ultime qu'est le développement durable, elle constitue aussi une étape essentielle dans la recherche de solutions à la menace croissante que représentent les risques naturels pour notre planète.

Le projet RADIUS – Initiative des Nations Unies pour la prévention des tremblements de terre dans les villes

Le projet RADIUS (Outils d'évaluation pour la préparation des zones urbaines aux risques sismiques) a été lancé en 1996 par le Secrétariat de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN), prédécesseur de l'ISDR, avec l'assistance technique et financière du gouvernement du Japon, en vue de prévenir les catastrophes sismiques dans les zones urbaines, en particulier dans les pays en développement. Ce projet a pour objectif de sensibiliser les populations et d'aider les communautés exposées à prévenir les dommages physiques, économiques et sociaux provoqués par les tremblements de terre.

Le projet s'est achevé à la fin de l'année 1999, après avoir atteint ses quatre objectifs : a) élaborer des scénarios de dommages provoqués par les tremblements de terre et des plans d'action à partir de l'étude de cas de neuf villes² ; b) développer des outils pratiques de gestion des risques sismiques ; c) mener une étude comparative afin de comprendre les risques sismiques urbains dans le monde ; et d) encourager l'échange d'informations entre villes.

Le cas de neuf villes

Les neuf villes ayant fait l'objet d'une étude de cas ont élaboré des scénarios de dommages provoqués par des tremblements de terre et des plans de gestion des risques avec l'assistance technique de trois institutions internationales : le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM, France), *GeoHazards International* (GHI, États-Unis) et le Centre international pour les techniques de prévention des catastrophes (INCEDE)/OYO Group (Japon). Ces scénarios décrivent les conséquences d'un séisme éventuel sur les constructions et l'infrastructure de chacune d'elles et fournissent une estimation du nombre des victimes.

Outils

Deux sortes d'outils ont été développées à partir des résultats de ces études de cas.

Un outil d'estimation des dommages dus aux tremblements de terre

RADIUS a mis au point un outil (logiciel) simplifié pour aider les décideurs et le public à comprendre le processus et l'intérêt d'une estimation préliminaire des dommages sismiques afin d'élaborer des programmes d'action en prévention des tremblements de terre.

Des directives pour la réalisation d'autres projets de gestion des risques du type RADIUS

Ces directives doivent servir à :

- expliquer le raisonnement et la méthodologie à la base du projet RADIUS ;
- aider à la lecture, la compréhension et l'interprétation des rapports préparés dans le cadre des études de cas ;
- fournir des schémas directeurs d'ensemble pour la mise en œuvre de projets de gestion des risques du type RADIUS dans d'autres villes.

Une étude comparative

Le projet d'étude comparative pour la compréhension des risques sismiques en zone urbaine dans le monde (UUSRAW) a réalisé les objectifs suivants :

- assurer une évaluation comparative systématique dans le monde entier de la magnitude et des causes des tremblements de terre dans les villes et des moyens mis en place pour en gérer les risques ;
- déterminer quelles villes dans le monde sont exposées à des risques sismiques similaires et encourager la naissance de partenariats entre elles ;
- servir de cadre d'échange permanent et régulier où ces villes pourront partager leur expérience en matière de séismes et de gestion des risques sismiques.

Le projet a créé sur Internet un réseau mondial de plus de 70 villes connaissant une activité sismique et a ainsi permis de rassembler les informations nécessaires à la réalisation d'une comparaison systématique des risques sismiques et des pratiques en matière de gestion des risques dans toutes les villes participantes.

L'échange d'informations

L'échange d'informations entre les villes par l'intermédiaire du réseau RADIUS était un point essentiel du projet éponyme. Le site Web RADIUS a été créé pour mettre à la disposition des intéressés toutes les informations réunies dans le cadre du projet. Plus de 30 villes associées ont participé au projet RADIUS, l'enrichissant de leurs connaissances et de leur expérience en la matière. Soixante-quatorze villes ont participé à l'étude comparative, discutant activement des problèmes et échangeant des informations sur le forum Internet du projet.

La DIPCN a organisé en octobre 1999, à Tijuana (Mexique), l'une des neufs villes ayant fait l'objet d'étude de cas, un colloque international sur « L'Initiative RADIUS – Pour la prévention des tremblements de terre dans les villes », afin de présenter et d'examiner les résultats des études de cas, les outils élaborés, l'étude comparative sur les risques sismiques urbains, et d'autres travaux annexes. On a proposé de maintenir en place le réseau créé pour les besoins du projet en vue de nouvelles activités de suivi dans les villes concernées. On a aussi proposé en conclusion de promouvoir les outils développés dans le cadre de RADIUS et de reproduire les travaux du projet RADIUS dans de nombreuses autres villes du monde sujettes aux tremblements de terre.

Les prolongements du projet RADIUS

Dès l'achèvement du projet, une première évaluation de son efficacité durant ses 18 mois de mise en œuvre a été réalisée. Cette première évaluation, effectuée à

partir des réponses à des questionnaires envoyés aux représentants des neuf villes étudiées, a montré que la mise en œuvre du projet RADIUS avait été une réussite dans chacune des villes concernées.

Une évaluation « un an plus tard » a été réalisée à la fin de l'an 2000 dans ces mêmes neuf villes pour déterminer l'étendue des progrès éventuels réalisés par chacune des municipalités dans la mise en place du Plan d'action développé par RADIUS. Cette évaluation portait sur les éléments suivants :

- l'exploitation des produits du projet ;
- le processus de mise en œuvre consécutive dans chacune des villes ;
- la promotion de la prévention des risques sismiques et la sensibilisation du public.

La méthodologie utilisée par RADIUS a suscité d'autres initiatives de prévention des catastrophes sismiques. L'Initiative mondiale de prévention des séismes (*Global Earthquake Safety Initiative* – GESI) mise en œuvre par le GHI et le Centre des Nations Unies pour le développement régional (CNUDR) s'appuie sur la méthodologie RADIUS pour aider les villes à évaluer et prévenir les risques de perte en vies humaines en cas de tremblement de terre. Cette initiative s'est fixé pour but de motiver une action en produisant des résultats à caractère non technique et donc facilement compréhensibles. Ces résultats doivent permettre de déterminer quels éléments d'une ville concourent à sa vulnérabilité, d'évaluer globalement l'efficacité des mesures de prévention visant à réduire le nombre de victimes éventuelles, de mettre en évidence la vulnérabilité des écoliers et de mettre l'accent sur les possibilités de prévenir ce risque. Vingt-et-une villes en tout ont participé à cette initiative, dont 13 ont aussi participé au projet RADIUS.

Certaines des villes du projet RADIUS participent également au projet *School Earthquake Safety* (Séismes et sécurité des bâtiments scolaires) du CNUDR, qui poursuit un programme complet de formation à la prévention des catastrophes sismiques en vue du renforcement des capacités et du développement communautaire spécifiquement axé sur les écoles et les systèmes éducatifs. Le secrétariat de l'ISDR s'attache également à promouvoir la construction de bâtiments scolaires capables de résister aux tremblements de terre, et à fournir aux écoliers du matériel didactique pertinent sur la prévention des catastrophes.

Le projet RADIUS n'est qu'une première étape. La prévention des risques sismiques est une entreprise de longue haleine. La méthodologie RADIUS a pour vocation de sensibiliser le public des communautés du monde entier. Il les aidera à terme à établir leurs priorités en matière de planification de l'occupation des sols, à respecter les normes de construction, à mettre aux normes les structures en place et, en particulier, à encourager la gestion préventive des dommages sismiques. Comme l'a dit Kenji Okazaki, directeur du projet : « RADIUS ne trace pas un cercle fermé, mais un cercle ouvert. Notre volonté est que ce cercle d'aide s'élargisse pour englober d'autres villes et d'autres personnes dans le monde. »

La méthodologie RADIUS a inauguré une nouvelle pratique éducative et permis d'élaborer du matériel didactique pour aider les communautés concernées

à comprendre les risques et à élaborer des plans de gestion de ces risques. Le Secrétariat de l'ISDR a l'intention d'évaluer les changements induits dans la gestion des risques par la mise en œuvre de la méthodologie RADIUS dans les communautés concernées. Le Secrétariat a aussi l'intention de promouvoir la mise en œuvre des outils développés dans le cadre du projet RADIUS dans d'autres villes du monde sujettes aux tremblements de terre. Une évaluation plus poussée est prévue dans les mois à venir afin d'évaluer à la fois les outils développés et la méthodologie de l'initiative.

Le secrétariat de l'ISDR poursuivra, en collaboration avec les partenaires régionaux et internationaux et les parties intéressées œuvrant dans le domaine de la prévention des catastrophes, ses efforts de mise en œuvre de l'Initiative RADIUS et assurera la promotion de ses résultats pour créer des communautés du XXI^e siècle capables de résister aux tremblements de terre.

Publications

Le projet RADIUS s'est achevé en 1999 ; le Secrétariat de l'ISDR a publié en 2000 un rapport de synthèse et produit un cédérom contenant tous les rapports finals et les outils développés. Le rapport de synthèse a été traduit en langues arabe, chinoise, espagnole, française et russe et sera bientôt publié. Le rapport d'évaluation « Un an plus tard » des villes études de cas sera bientôt publié lui aussi. Tous les rapports peuvent être consultés sur les sites de l'ISDR (www.unisdr.org) et du GHI (www.geohaz.org/radius.html).

Notes

1. L'ISDR a pour ambition de rendre toutes les sociétés capables de résister aux catastrophes naturelles et aux catastrophes industrielles et environnementales connexes, de façon à en réduire le coût humain, économique et social. La réalisation de cette ambition passe par celle des quatre objectifs suivants : a) la sensibilisation du public, b) un engagement des autorités, c) une stimulation des partenariats interdisciplinaires et intersectoriels et une extension des réseaux de prévention des risques à tous les niveaux, et d) l'acquisition de connaissances scientifiques sur les causes des catastrophes naturelles et les conséquences des risques naturels et des catastrophes industrielles ou environnementales sur nos sociétés.
2. Addis-Abeba (Ethiopie), Antofagasta (Chili), Bandung (Indonésie), Guayaquil (Equateur), Izmir (Turquie), Skopje (ex-République yougoslave de Macédoine), Tachkent (Ouzbékistan), Tijuana (Mexique), Zigong (Chine).

Chapitre 4

Prévention des risques et gestion du patrimoine scolaire : les leçons des tempêtes qui ont frappé la France en décembre 1999

par

Jean-Marie Schléret

Président de l'Observatoire national de la sécurité
des établissements scolaires et d'enseignement supérieur,
Paris, France

Les deux tempêtes qui ont frappé la France les 26 et 27 décembre 1999, qualifiées d'ouragans par les spécialistes, ont été exceptionnelles par leur intensité, par le territoire concerné, par les rafales supérieures à 150 Km/h enregistrées et par la gravité et l'ampleur des conséquences.

Le dimanche 26 décembre, des vents d'une violence exceptionnelle ont accompagné la très profonde dépression (960 millibars à 7 h aux environs de Rouen) qui a traversé très rapidement le nord du pays, du Finistère vers 2 h locales à Strasbourg aux environs de 11 h – soit un déplacement approximatif de 100 Km/h. La zone balayée par les vents les plus violents correspond à une bande d'une largeur de 150 Km environ à proximité immédiate de la dépression sur un axe « pointe de Bretagne, sud de la Normandie, île-de-France (région de Paris), Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace » ; les valeurs des rafales de vent ont atteint 170 Km/h à Paris.

Le 27 décembre, la deuxième dépression est entrée sur la pointe sud de la Bretagne vers 16 h – les régions les plus touchées situées dans le secteur de La Rochelle ont enregistré des vents à plus de 150 Km/h.

Les effets de ces tempêtes ont marqué la communauté scolaire, non pas uniquement en raison de l'importance des dégâts, mais principalement à l'idée des drames auxquels elle a échappé. Si de tels phénomènes avaient surgi en dehors des congés scolaires, les victimes auraient pu se compter par centaines.

Au-delà du recensement et de l'analyse des principaux dégâts, une réflexion s'est engagée sur la gestion du patrimoine scolaire et davantage encore sur la prévention à mettre en œuvre en milieu scolaire face à de tels risques naturels.

Ampleur et typologie des dégâts

L'étendue des dommages et constats généraux

5 489 établissements ont fait état de dégâts plus ou moins importants : 1 777 écoles publiques (3 %)¹, 1 720 collèges (35 %), 1 248 lycées (48 %), 578 établissements privés, 166 sites universitaires. Ces chiffres importants ne doivent pas donner à penser que le secteur scolaire a plus souffert que l'ensemble des constructions. Dans 2/3 des cas, les dégradations sont de faible importance. Dans 9 % des cas elles sont de forte ampleur. Les préjudices majeurs concernent une faible proportion d'établissements (5 %) qui cumulent à eux seuls la moitié du coût total des réparations estimé à plus de 600 millions de francs (91 millions d'euros). Ils correspondent vraisemblablement à des bâtiments qui cumulent certaines techniques de construction

« vulnérables » avec sans doute des défauts de conception, des malfaçons, éléments parfois aggravés par la vétusté.

Le coût moyen des réparations par établissement se situe autour de 125 000 francs (19 000 euros) pour les écoles et les collèges, 250 000 francs (38 000 euros) pour les lycées professionnels et 400 000 francs (60 000 euros) pour les lycées d'enseignement général.

Les éléments de structure porteuse générale des bâtiments tels que poteaux, poutres, murs et planchers ont, dans leur totalité, résisté. A l'exception de bâtiments très particuliers (préfabriqués provisoires, serres, etc.), les structures porteuses ont rempli leur rôle, malgré les dépassements de charge constatés par rapport aux hypothèses de calcul.

Les dégâts se répartissent à peu près de la même manière sur les différentes périodes de construction. Les plus importants affectent aussi bien les bâtiments antérieurs à 1960 que ceux des dernières années. Aucune période de construction ne paraît donc plus touchée que les autres. On constate aussi que, mis à part les lycées professionnels récents plus fréquemment concernés par des désordres importants sur des bâtiments ou des installations spécifiques (ateliers, serres, etc.), tous les secteurs d'enseignement sont à peu près logés à la même enseigne. Les dégâts les plus marquants en ce qui concerne les écoles portent d'abord sur les couvertures en partie courante, alors que les collèges et lycées marquent une prépondérance sur les ouvrages particuliers de couverture et de terrasse (excroissances ou extrémités des ouvrages courants).

Les dégâts causés aux toitures

Dans un certain nombre d'établissements, qu'il s'agisse de constructions en béton ou de bâtiments à structure métallique, d'importants désordres ont affecté les toitures. Les couvertures constituées de bacs en acier avec isolant thermique et faux plafond ont été soulevées après arrachement des fixations, alors que les façades sont demeurées intactes.

Les soulèvements de partie de toiture ont parfois été consécutifs à l'arrachement d'auvents ou de sorties d'aération exposées aux vents dominants. Des témoins présents aux premières heures de la tempête parlent « d'enroulement du toit » et décrivent des déchirements de tôle à l'endroit des fixations. Ce qui conduit à s'interroger sur les éléments de construction vulnérables aux vents extrêmes, mais aussi sur la question des fixations et de leur contrôle.

Les bâtiments d'architecture ancienne n'ont pas été davantage épargnés au niveau des désordres de couverture, et cela parfois en dépit des vérifications annuelles des toitures en tuiles. Une école primaire de construction traditionnelle, ayant de par sa position fait barrage aux vents violents, a vu l'ensemble de sa toiture emportée.

Il est apparu que les ouvrages particuliers de couverture ou d'étanchéité sont des éléments éminemment fragiles et qu'une analyse doit être faite sur leur conception, leur réalisation et les moyens d'assurer la sécurité du public en cas de défaillance. Les grands éléments de couverture (bacs en acier, plaques ondulées de fibre-ciment, feuilles

de zinc, cuivre, aluminium ou inox) ont également montré qu'en cas de défaillance, la rupture en chaîne pouvait générer des désordres très importants.

Les bris de vitres et les désordres à l'intérieur des bâtiments

Dans les situations que nous avons pu observer, l'arrachement partiel ou total d'une toiture n'a pas toujours constitué le facteur déclencheur du sinistre. Des bris de vitres ont été causés par des projectiles provenant d'autres bâtiments ou de chutes d'arbre. Mais plus souvent encore par des éléments de décoration de la façade qui, une fois arrachés, ont été projetés à plus de 100 m et ont fait éclater des surfaces vitrées permettant ainsi au vent de s'engouffrer et de soulever ensuite le toit. Les bâtiments caractérisés par une surabondance de grandes surfaces vitrées ont vu considérablement augmenter ce type de dégât, notamment dans le cas de verrières orientées face aux vents dominants. Et quand ils existent, les volets roulants n'ont pas démontré une grande efficacité. Baies vitrées sorties de leur rail, cloisons entre classes et couloirs déplacées en partie haute, arrachement du couvre-joint de dilatation entre deux bâtiments, flocages pour isolation thermique arrachés, tels sont les principaux dégâts produits à l'intérieur des bâtiments où le vent s'est engouffré, soit après l'arrachage de la couverture, soit à la suite de bris de vitre.

Il a été mentionné à plusieurs reprises que les calculs de solidité sont effectués espaces fermés, sans prise en compte de la sécurité résiduelle lorsqu'un élément secondaire vient à céder.

L'impact de l'environnement

Il convient de faire mention particulière des établissements dont le site d'implantation s'est avéré particulièrement exposé aux vents, ce qui paraît constituer un facteur supplémentaire de risque. L'influence de l'environnement en fonction de l'implantation des bâtiments est notamment soulignée à propos d'envols d'éléments faisant saillie.

Citons un collège de Charente-Maritime (17) sévèrement touché, alors que sa construction venait à peine de s'achever. Éloigné d'à peine quelques kilomètres de la mer, l'établissement dont les châssis vitrés étaient prévus pour résister à des vents de 150 Km/h s'est trouvé fortement fragilisé face à des vents de 180 Km/h. Le maître d'ouvrage notait que les normes imposées auraient dû être celles du bord de mer.

Dans un autre établissement de la région parisienne, on évoque non seulement l'importante exposition aux vents dominants mais encore le risque induit par la suppression d'un talus en bordure d'autoroute. Le site doit être considéré comme un des facteurs majeurs d'aggravation des risques lors de circonstances exceptionnelles.

La proximité d'arbres apparaît encore comme facteur de risque. L'environnement boisé n'est pas pour autant à remettre fondamentalement en cause. Par contre, les environnements boisés requièrent une attention particulière. Les parcs entretenus avec des arbres correctement élagués ont mieux résisté. Il apparaît souhaitable d'établir un plan de mise en conformité de l'environnement boisé autour des établissements

conduisant éventuellement à la suppression de certaines essences telles que le peuplier et le pin parasol, fixant des pratiques d'élagage et de plantation d'arbres moins hauts.

Réglementation et précautions au niveau des constructions

La réglementation française en matière de construction et les règles « neige et vent »

Tout établissement est un lieu favorable au développement d'un certain nombre de risques dès qu'il reçoit du public. Un établissement d'enseignement est un lieu d'autant plus sensible qu'il accueille des enfants ou des adolescents dont la jeunesse peut amplifier les risques en favorisant des comportements inattendus.

Ceci justifie le soin exigeant apporté aux constructions scolaires. Elles doivent être réalisées et maintenues de façon « sécurisante ». Les constructions scolaires ne font cependant pas l'objet de mesures particulières. Comme toute autre construction, elles doivent répondre aux réglementations existantes : le code de l'urbanisme, le code de la construction et de l'habitation, qui fixent les grands principes ; les instructions techniques, les normes, les documents techniques unifiés.

Dans les règles techniques traitant des effets du vent on distingue en France les règles « neige et vent » des autres textes. Elles ont pour objet de déterminer les charges dues au vent, nécessaires pour dimensionner les ouvrages de construction. Bien que leur champ d'application ne soit pas limité et à l'exception de bâtiments particuliers (tours de grande hauteur, etc.), elles sont utilisées, dans la pratique, essentiellement pour les structures porteuses (poutres, poteaux, charpentes, portiques, etc.) quelle que soit leur nature : béton, métal, bois.

Les charges dues au vent sont déterminées à l'aide de ces règles, en particulier à partir des données suivantes :

- l'implantation du bâtiment (région et site) ;
- la forme du bâtiment (hauteur, largeur, débord, etc.) ;
- la perméabilité des façades (pourcentage de la surface de façade permettant au vent de pénétrer à l'intérieur du bâtiment par les ouvertures telles que portes et fenêtres, considérées fermées).

A l'occasion des travaux de l'Eurocode, une carte définissant les actions du vent en fonction des régions a été modifiée en décembre 1999. Elle prend en compte les données météorologiques des dernières années et divise la France en quatre zones où les valeurs de vent extrêmes sont établies entre 136 et 182 Km/h.

L'évolution des bâtiments scolaires et la programmation améliorée des travaux

Depuis 1986 le parc de bâtiments scolaires a été dévolu par l'État aux collectivités territoriales. La mise en œuvre de cette décentralisation n'est pas seulement caractérisée par un transfert de compétences et de financements aux départements et aux régions. Les références techniques du ministère chargé de l'enseignement

disparaissent. Cette longue période où des schémas rigoureux étaient imposés avec des normes systématiques fixées par le ministère s'est achevée dans les années 1980 : cette nouvelle compétence conduit désormais chaque maître d'ouvrage à déterminer ce qu'il souhaite pour les établissements qu'il construit, reconstruit ou réhabilite. Il est simplement tenu de respecter les normes qui s'appliquent aux constructions publiques. Au surplus, on entre dans une période où le primat de la qualité architecturale prévaut pour les collectivités publiques.

Avec la diversification de la commande, la fin des modèles standards et le « retour de l'architecte », une nouvelle étape en matière d'architecture scolaire s'ouvre à partir de 1986. La créativité devenue plus libre s'est trouvée dans le même temps confrontée à une multiplication des contrôles. A tel point que peut déjà s'observer depuis quelques années une sorte de retour du balancier dans l'esthétique architecturale. Les projets récents paraissent ancrés aujourd'hui dans une architecture « plus subtile que grandiloquente ». Les choix des utilisateurs vont dans le sens de bâtiments avec une configuration et une distribution intérieure simples et d'un entretien plus facile.

Au moment de la programmation des constructions, l'accent est porté sur la valeur accordée au processus d'exécution des travaux, tant par la qualité et la sécurité des procédés mis en œuvre et la garantie de bonne exécution, que par l'insertion dans le site et la gestion de l'environnement. Une préférence commence à apparaître aussi pour une augmentation des servitudes dans la programmation plutôt qu'une surcharge de la réglementation.

La gestion du risque passe par le contrôle du bâti et sa maintenance préventive

Depuis 1978, une loi relative à la responsabilité dans le domaine de la construction rend obligatoire à la charge du maître d'ouvrage au moment de leur réalisation, le contrôle technique des travaux de construction neuve ou de réhabilitation.

Elle ne prévoit pas pour autant de vérification périodique afin d'aider le maître d'ouvrage ou l'exploitant à déceler des anomalies survenant au cours de la vie du bâtiment et qui pourraient engendrer un risque pour les usagers. A défaut de réglementation, le maître d'ouvrage peut décider d'une auscultation périodique dans le cadre d'une démarche de maintenance préalablement déterminée.

Le contrôle de solidité est confié aux contrôleurs techniques agréés par le ministère de l'Équipement pour les opérations de construction. La commission consultative départementale de sécurité et d'accessibilité n'a pas compétence pour vérifier la solidité d'un ouvrage.

Même si la réglementation n'impose pas de vérification périodique du bâti, elle est fortement recommandée. L'un des principaux enseignements des dégâts causés par les tempêtes concerne les points sur lesquels doivent impérativement porter les contrôles :

- une attention aux éléments les plus fragiles (auvents, cheminées, faîtages) qui requièrent une analyse plus poussée de leur conception, de leur réalisation ainsi qu'une prévision des mesures à prendre en cas de défaillance ;

- une surveillance des grands éléments de couverture qui, en cas de faiblesse, peuvent entraîner des désordres majeurs.

Les dispositions prises dès l'établissement du cahier des charges en matière de maintenance préventive devraient aller jusqu'à prévoir les éléments devant subir par la suite des contrôles réguliers.

Dispositif d'alerte et de prévention

Les leçons à tirer des tempêtes dévastatrices concernent avant tout l'alerte et la prévention. Il convient de mieux anticiper les conséquences de ce type de risque naturel majeur, en révisant tout un ensemble de systèmes de fonctionnement afin de privilégier la sécurité des élèves et des personnels.

Les établissements scolaires face au dispositif d'alerte

Au stade premier de mise en alerte des établissements scolaires, soit de manière localisée dans un département ou une région, soit de manière plus générale, c'est l'alerte météorologique qui doit jouer pleinement son rôle. Que ce soit par les bulletins régionaux d'alerte météorologique ou les bulletins nationaux d'alerte au risque météorologique. Exceptionnellement, les services de sécurité et les préfets sont chargés d'alerter la population en cas de risque grave. Les médias sont destinataires de communiqués météorologiques spéciaux et relaient l'information dans les émissions de radio et de télévision.

Mais les messages radio et télé, une fois passée l'actualité des dernières tempêtes, rencontrent chez les auditeurs ou téléspectateurs une attention inégale et souvent distraite par d'autres informations. Il conviendrait de les compléter par le rappel des consignes à observer. Une place toute particulière serait à réserver dans ces messages à la question de la fermeture éventuelle des établissements scolaires en cas d'avis de tempête prenant en compte les instructions des autorités de l'État. Dans le Sud-Ouest, un bulletin d'alerte avait été lancé dix heures avant la tempête du 27 décembre.

Mais le dispositif d'alerte météo, tel qu'il est prévu et tel qu'il fonctionne, n'intègre aucune information particulière destinée spécifiquement au réseau des établissements scolaires en cas de risque exceptionnel. Peut-on imaginer ainsi, une fois le risque détecté, un système faisant redescendre l'information aux établissements par ligne spéciale ? Il s'agirait là d'une disposition à appliquer en période d'activité scolaire. De la veille au lendemain, en effet, peuvent être prises des décisions de fermeture pour éviter de mettre en péril les élèves, soit lors des transports scolaires susceptibles d'être entravés par des chutes d'arbre, soit dans les établissements eux-mêmes exposés à des perturbations météorologiques exceptionnelles. L'information, même si elle est ensuite relayée par les médias locaux ou nationaux, peut dans ces conditions être communiquée directement aux parents par un document circonstancié remis aux élèves.

Dans la mesure où les informations météorologiques, recueillies par satellite ou par différentes techniques de plus en plus performantes, permettent à grande échelle des prévisions globalement fiables à cinq jours, une sorte de dispositif de

pré-alerte, pratiquée ailleurs sous forme de vigilance cyclonique, a été préconisé par l'Observatoire. Météo France a mis cette recommandation en application depuis le 1^{er} octobre 2001. Une carte dite de vigilance informe chaque département si un danger météorologique peut le toucher dans les 24 heures. Si le département est jaune : attention à des phénomènes localement dangereux ; orange : phénomène dangereux ; rouge : phénomène très dangereux et exceptionnel. Des conseils de comportement accompagnent la carte. Même si les prévisions à échelle régionale qui demandent une puissance de calcul encore hors de portée demeurent difficiles plusieurs jours à l'avance, des prévisions d'ensemble, communiquées à bon escient, auront l'avantage de mobiliser utilement une veille active aux différents niveaux de responsabilité académique. Il convient cependant de tenir compte aussi des sous-estimations possibles de la force des vents. Dès la première tempête du 26 décembre, l'ampleur de la prévision a, semble-t-il, laissé à désirer avec une annonce de vents à 130 Km/h alors que dans la réalité ils ont été de 170 voire 200 Km/h par endroits.

Les mesures de protection

Quand la prévision insuffisante ou trop tardive ne permet plus de prendre la décision de fermer un établissement scolaire dans des conditions de sécurité suffisantes intervient l'application d'un plan de protection. Il s'agit alors de faire face dans les conditions les moins mauvaises possibles au risque majeur que l'établissement s'apprête à subir.

Par définition, un tel événement laisse très peu de temps à la prise de décision et à l'exécution des consignes données. S'il est clair que, dans la plupart des cas, la meilleure disposition aurait consisté à fermer l'établissement à temps – y compris le jour même quand les délais de trajet sont compatibles avec la prévision annoncée – on ne peut totalement exclure la tornade subite. Au cours des années passées, ont été signalées localement des bourrasques de vent à 130 Km/h provoquant des arrachages de toiture et des effondrements de plafond de bâtiments scolaires, fort heureusement la nuit ou en période de non occupation. Il reste par ailleurs à faire aussi le plus grand cas de la situation des lycées ou plus rarement des collèges qui accueillent des internes et notamment quand le péril survient la nuit.

Dans toutes ces situations on ne peut pas se contenter d'appliquer des règlements généraux. Il convient d'élaborer, avant l'arrivée d'une catastrophe, un plan de sécurité qui tienne compte de la géographie et de l'environnement immédiat. Cela commence par une bonne connaissance des bâtiments au moyen d'un diagnostic avec les services techniques de la collectivité de rattachement permettant d'anticiper les risques liés à la construction. Une telle préparation devrait se faire dans chaque établissement en associant les parents d'élève, permettant ainsi de réduire les réactions de panique (appels téléphoniques encombrant des lignes qu'il faut réserver aux urgences, voire déplacements périlleux). Dans tous les cas, les mesures à prendre en urgence doivent être déterminées à l'avance. Alors que le plan externe d'alerte et de protection dépend du préfet, le plan interne est du ressort du chef d'établissement.

Mieux encore et en complément des consignes claires s'impose la nécessité de les expliquer mais surtout de les expérimenter à intervalles réguliers par des

simulations réalisées dans une logique diamétralement opposée aux exercices d'évacuation. Ces exercices pratiques sont destinés à familiariser élèves et personnels avec le signal d'alerte, les itinéraires prévus et l'application des consignes. La gravité des situations auxquelles on peut être amené à faire face est telle qu'aucune improvisation n'est permise.

Les formations proposées

Dès 1989 ont été mis en place en France les « coordonnateurs académiques risques majeurs » avec l'objectif de construire des outils pédagogiques destinés à la formation des élèves. Désignés par les recteurs, ils sont placés auprès des « correspondants académiques sécurité » qui ont pour mission de contribuer à la mise en œuvre de l'enseignement des règles de sécurité et de réaliser des actions de formation initiale et continue.

Une convention « Éducation nationale – Environnement » a permis de créer un réseau « risques majeurs » de 450 formateurs répartis en 30 équipes académiques. Enseignants, chefs d'établissement, inspecteurs de l'éducation nationale notamment ont bénéficié de stages.

Le plan d'organisation appelé SESAM (Secours dans les établissements scolaires en cas d'accidents majeurs), élaboré initialement par un groupe de formateurs aux risques majeurs, a été validé par les ministères de l'Environnement, de l'Éducation nationale et de l'Intérieur. Ce document se présente comme une maquette nationale devant être adaptée à chaque établissement afin d'aider la communauté scolaire à faire face à l'accident majeur. Sous la conduite du chef d'établissement, son adaptation doit revenir au personnel constituant un groupe « risques majeurs » préparé par les formateurs agréés de l'équipe académique.

Évacuation ou confinement ?

Se pose la question du déclenchement du plan de protection qui est de la responsabilité directe du chef d'établissement ou du directeur d'école, dès qu'ils ont connaissance du signal national d'alerte. Mais compte tenu des confusions possibles avec le déclenchement d'une évacuation de type incendie, le dispositif d'alarme dont sont équipés les établissements recevant le public ne doit pas être actionné si l'évacuation est contre-indiquée. Se pose à ce niveau la question de l'utilité d'une alarme à deux tons. Soulignons aussi l'intérêt de doter les établissements d'un système phonique permettant d'avertir l'ensemble des classes de l'imminence d'un danger et de l'application des premières consignes.

Le confinement est fréquemment évoqué par les chefs d'établissement bien conscients qu'à un stade avancé, quand volent tout autour des bâtiments les projectiles les plus divers, il est inconscient de tenter la moindre évacuation. Dans la plupart des cas de tempête, les risques apparaissent comme étant bien moindres à l'intérieur d'un bâtiment que dehors et il convient dès lors de faire très attention au réflexe d'évacuation. Un cas cependant est à citer comme exception à la règle, c'est celui des bâtiments démontables. Nous avons pu observer comment l'un d'entre eux a été littéralement soufflé. C'est donc une vigilance toute particulière qui doit s'exercer

sur l'occupation de ce type de construction pour en fermer l'accès à temps en cas de risque imminent.

En cas d'alerte pendant les heures scolaires, les recommandations sont les suivantes : éloignement des fenêtres, des portes et si possible dans les parties basses du bâtiment, en évitant les façades exposées aux vents dominants. Ces données doivent guider, en lien avec la Sécurité civile, le choix des locaux susceptibles de servir au confinement. Il semble en effet plus réaliste de repérer les endroits les plus adéquats ou éventuellement adaptables que de spécialiser des locaux réservés à cet effet. Se pose tout de même pour un certain nombre d'établissements le problème d'une absence quasi complète d'espaces possibles de confinement. Les couloirs eux-mêmes peuvent présenter des risques quand ils sont situés entre la façade exposée et la façade opposée rendue dangereuse en raison de la dépression.

Le confinement doit prévoir un point d'eau et des sanitaires accessibles, si possible avec le minimum d'ouvertures sur l'extérieur et une capacité d'un m² par personne. D'autres recommandations portent sur un petit matériel de base indispensable, notamment en cas d'impossibilité d'accès à un point d'eau ou aux sanitaires. La question de l'utilité d'un groupe électrogène a été posée. L'utilisation d'un téléphone en état de marche et réservé aux appels vers l'extérieur n'est pas sans lien avec l'autonomie électrique. Quant aux portables, ils sont eux-mêmes dépendants de la résistance des relais et des conditions météorologiques. Il convient enfin d'observer qu'il est souhaitable de prendre les conseils de la Sécurité civile pour établir le plan de secours de l'établissement.

Conclusion

Dans les établissements scolaires les plus touchés, les effets des tempêtes de décembre 1999 ont marqué la communauté scolaire. Au-delà du constat des dégâts et de la perspective des drames auxquels la période des congés scolaires a permis d'échapper, subsistent des conséquences psychologiques chez les élèves et les personnels. Au-delà des stigmates portés par les bâtiments endommagés et des impatiences face à des retards pris dans les réparations, demeure le choc qui aura marqué profondément. Pour chaque établissement touché de manière significative, en effet, et quel qu'ait été l'ampleur des dégâts, il s'est agi d'une catastrophe.

Face à ce qui aura pu malgré tout apparaître globalement comme un avertissement à frais réduits, la communauté scolaire a commencé à tirer un certain nombre d'enseignements en matière d'alerte, de prévention et de prévision. Les conseils d'administration, les commissions d'hygiène et de sécurité et les conseils d'école, examineront d'un regard nouveau leur projet sécurité en liaison avec la Sécurité civile. Les chefs d'établissement et directeurs d'école qui président les travaux prendront soin d'utiliser les compétences des coordonnateurs risques majeurs et des correspondants académiques sécurité. Le schéma du plan SESAM, mis en œuvre par un certain nombre d'équipes éducatives seulement, méritera un rappel général. Une dynamique ainsi réactivée prendra appui sur des documents clairs et actualisés tel celui réalisé en octobre avec le concours de l'Observatoire. Car en définitive il s'agit principalement d'outils qu'il ne suffit pas de connaître mais qu'il faut expérimenter par des exercices bien préparés.

La prévention des risques naturels majeurs fait dorénavant partie intégrante de la culture de la sécurité.

Note

1. Ce faible pourcentage renvoie au fait qu'il s'agit dans l'ensemble d'un bâti plus ancien, en centre-ville et se caractérisant par une organisation simple de l'espace.

Chapitre 5

Conception et construction des bâtiments scolaires au Mexique : cadre normatif

par

Gregorio Farías Longoria
Directeur général

et

Jaime de la Garza Reyna
Secrétaire technique

Comité chargé de l'administration du programme fédéral
de construction d'écoles (CAPFCE), Mexico, Mexique

Introduction

Le Comité chargé de l'administration du programme fédéral de construction d'écoles (CAPFCE) est un organisme public décentralisé du gouvernement fédéral mexicain qui a été créé en mars 1944 avec pour mission de s'occuper de la construction, de l'équipement et de la rénovation des bâtiments et installations scolaires publics sur l'ensemble du territoire. En 1996, un processus de décentralisation a été engagé dans le but de transférer aux états la responsabilité de la construction de bâtiments scolaires, en dotant chaque état d'un organisme spécialisé.

Le Comité est ainsi chargé de veiller à la conformité de la construction et de l'équipement de l'infrastructure éducative et d'assurer la coordination des différents services fédéraux compétents dans ce domaine avec les organismes des états.

Le territoire mexicain est exposé à l'action de différents types de phénomènes naturels susceptibles de déclencher des situations catastrophiques comme les séismes, les tempêtes tropicales, les ouragans, les inondations, l'activité volcanique et les glissements de terrain (pentes et talus naturels et artificiels) pour ne mentionner que les dangers les plus importants.

Depuis les séismes de septembre 1985, les autorités publiques ont renforcé les normes de conception des bâtiments ainsi que les dispositifs de protection civile, ce qui a abouti à l'adoption de normes plus strictes et à la mise en place du Dispositif national de protection civile et du Centre national de prévention des catastrophes.

Ces deux organismes ont élaboré une série d'instruments propres à permettre aux autorités et à la société de mieux faire face aux phénomènes susceptibles de causer des dommages aux personnes et aux biens. Ils ont notamment élaboré des cartes soulignant les risques suivants :

- l'activité sismique et volcanique, l'instabilité des sols et les glissements de terrain ;
- les ouragans, les inondations, l'érosion et les effondrements de terrain ;
- les déchets industriels et les incendies de forêt ;
- les événements d'origine humaine.

Nous ne citerons ci-dessous que les actions concernant les risques sismiques.

La recherche et la formation

- La recherche sismique.
- L'évaluation et l'identification des zones à risques.

- L'enseignement et la recherche.
- Les programmes spéciaux de formation et de perfectionnement du personnel de la protection civile.
- L'extension de la couverture des réseaux accélérographiques.
- Les équipements des bâtiments à des fins de prévention.

La protection civile

- L'élaboration de plans d'urgence pour faire face aux catastrophes naturelles et la mise en œuvre de ces plans à l'occasion d'exercices.
- La sensibilisation et la préparation de la population.
- Les systèmes d'alerte sismique (SAS).

Les techniques de construction (pour les établissements scolaires)

- L'évaluation des dommages.
- Le diagnostic de la sécurité des bâtiments scolaires.
- Les programmes de renforcement et de mise en conformité.

Les actions normatives

- Les programmes d'aménagement urbain.
- La révision et l'actualisation périodiques du cadre normatif.
- L'élaboration et l'application du cadre normatif dans les zones à risques.

La vulnérabilité

Les villes des pays en développement, exposées aux risques de séisme, d'ouragan ou d'autres phénomènes naturels destructeurs, sont de plus en plus vulnérables. Les catastrophes naturelles induisent un nombre de morts et de dommages matériels très supérieurs à ceux qui se produisent dans les pays industrialisés.

La vulnérabilité amplifie les effets des catastrophes et le manque de défense de la population tout en diminuant sa capacité de réaction. Nombreux sont les facteurs qui sont à l'origine de cette vulnérabilité, dont les suivants :

- une forte concentration démographique ;
- des régions caractérisées par la pauvreté et l'inégalité des revenus ;
- l'absence de culture civique en matière de prévention des catastrophes ;
- un développement non autorisé ou impropre dans des zones dangereuses ;
- la dégradation de l'environnement, la déforestation, etc. ;
- les carences au niveau de l'application des règlements et des normes de construction.

La cartographie du pays – l'activité sismique

L'activité sismique régionale

L'établissement de cartes de zones de risques sismiques doit permettre de classer les régions qui se caractérisent par des risques sismiques similaires, en

fonction de la géologie et du terrain. Le territoire de la république du Mexique a été partagé à cette fin en quatre zones signalées par les lettres A, B, C et D qui dénotent un risque sismique croissant.

La lacune sismique de Guerrero (Brecha de Guerrero)

La lacune sismique correspond à une zone de contact entre deux plaques tectoniques où aucun séisme d'intensité supérieure à 7 sur l'échelle de Richter ne s'est produit depuis un temps relativement long.

Il y a, le long des côtes du Mexique bordées par l'océan Pacifique, une longue faille géologique qui est à l'origine de graves séismes. Actuellement, sur une zone bien définie de cette grande tranchée ou fosse mésoaméricaine, se trouve une lacune sismique qui risque dans un futur proche d'être à l'origine de séismes de grande ampleur. Elle est située face au littoral de l'état de Guerrero et résulte du mécanisme de subduction de la plaque de Cocos sous la plaque continentale d'Amérique du Nord sur laquelle se trouve le Mexique. Des séismes importants se sont produits au nord-est de cette lacune sismique, en 1899, 1907, 1908, 1909 et 1911, mais depuis 90 ans, cette zone n'a pas enregistré de mouvement sismique important. Il en est de même au sud de cette lacune sismique, entre Acapulco et la frontière de l'état de Oaxaca, depuis les séismes survenus en 1957 et en 1962.

Les spécialistes de la question s'accordent à dire qu'il est fort probable qu'un séisme de grande ampleur se produise dans cette région du Mexique. Compte tenu des dimensions de la lacune et du temps qui s'est écoulé depuis que l'énergie ne s'y est pas libérée, on estime que l'intensité d'un séisme qui pourrait s'y produire dépasserait 8 sur l'échelle de Richter, même s'il n'est pas exclu que cette énergie se libère à l'occasion d'une série de séismes importants mais de moindre intensité sur une période relativement brève.

Les effets de site

L'effet de site est la réaction sismique du sol d'une zone déterminée, qui présente des caractéristiques distinctes du point de vue de l'ampleur, de la durée et de la fréquence par rapport à la réaction sismique régionale, et qui est fondamentalement due à ses caractéristiques géologiques. Il s'agit d'une condition propre à un lieu où l'on observe des intensités sismiques très différentes de celles d'autres sites équidistants de l'épicentre, indépendamment de la baisse d'intensité normale de l'énergie sismique due à l'effet de distance par rapport à l'épicentre.

Durant les séismes de septembre 1985, les dommages observés sur les bâtiments de la ville de Mexico ont été déterminés par les conditions locales du sous-sol, l'amplification dynamique majeure observée à la surface étant un phénomène provoqué par les effets de site. Les niveaux d'intensité les plus élevés ont été observés sur les zones de dépôts lacustres dont l'épaisseur variait de 25 à 45 m. Ces niveaux diminuent proportionnellement à l'épaisseur des strates compressibles jusqu'à devenir négligeables sur terrain ferme.

Le système d'alerte sismique

Les accélérographes obtenus dans cette région sur une période de six ans nous ont permis de mieux comprendre la lacune sismique de Guerrero, de même que la possibilité de la voir provoquer dans un futur proche un séisme de forte magnitude, qui pourrait avoir des effets destructeurs pour la ville de Mexico.

Afin de contribuer à atténuer les effets catastrophiques pour la capitale qui résulteraient de séismes de forte intensité provenant de la Brecha de Guerrero, le Centre d'instrumentation et d'enregistrement des secousses sismiques a obtenu des fonds des autorités de la ville de Mexico pour concevoir, construire et faire fonctionner un système d'alerte sismique (SAS).

Ce système est constitué de douze stations de captage de secousses sismiques situées le long du littoral de l'état de Guerrero et permet d'anticiper et de définir les effets d'un séisme important qui se déclencherait le long de ce littoral. Le fait que la vitesse de propagation des ondes radio est supérieure à celle des ondes sismiques peut être utile lorsque les épicentres des séismes sont situés à plus de 300 Km de distance de la ville de Mexico.

Le système d'alerte sismique se déclenche automatiquement lorsque les stations de captage signalent le début d'un séisme de forte magnitude. Ce signal est transmis jusqu'à la vallée de Mexico où toutes les stations de radio et de télévision alertent la population, ce qui donnerait un avantage d'environ 60 secondes par rapport au début du séisme.

L'alerte sismique n'est pas déclenchée lorsque les tremblements ressentis dans la vallée de Mexico sont provoqués par des séismes de faible intensité ou par des événements se produisant en dehors de la lacune de Guerrero.

Il est précieux de disposer d'un signal d'alerte sismique anticipé pour évacuer la population et sécuriser les zones industrielles dangereuses.

Depuis 1993, le ministère de l'Éducation exige que toutes les écoles de la région métropolitaine soient branchées sur les stations de radio (ondes moyennes et modulation de fréquence), afin que les procédures d'évacuation puissent être engagées dès l'émission d'un signal d'alerte.

Le SAS offre aussi des services qui sont fort utiles au système de transport collectif (métro), aux organismes de protection civile du district fédéral et de l'état de Mexico, au ministère des Travaux publics et aux services du district fédéral, à l'Université nationale autonome de Mexico, aux universités autonomes et métropolitaines et à la zone résidentielle de Rosario où vivent près de 15 000 personnes.

On discute actuellement de l'opportunité d'étendre le réseau de stations de captage à d'autres régions situées le long de la faille géologique, principalement sur le littoral des états de Michoacán et d'Oaxaca.

L'évolution du cadre normatif

L'évolution du cadre normatif est généralement déclenchée par des événements de caractère destructeur, qui amènent à élever le niveau des paramètres définis

antérieurement et par des dommages qui nécessitent des modifications fondamentales de la conception et de la construction des bâtiments.

Pour cela, il faut faire bien plus qu'augmenter les facteurs de charge et de résistance sismique. Il est impératif de revoir la conception des bâtiments, les méthodes de construction et les calculs, les systèmes structurels, la résistance des matériaux, l'assurance qualité, les comportements structurels, et les responsabilités professionnelles.

Le cadre normatif défini par le CAPFCE pour la conception et la construction de bâtiments scolaires antisismiques n'a cessé d'évoluer au vu des modifications apportées aux règlements de construction, notamment celles du code de construction de la ville de Mexico, et du comportement des bâtiments à l'occasion des séismes.

Le code actuel de la construction fondé sur la conception de structures parasismiques comporte les stipulations suivantes :

- en cas de séisme de faible intensité, la structure et ses éléments secondaires (non structurels) ne doivent pas être endommagés ;
- en cas de séisme d'ampleur modérée, la structure ne doit pas être endommagée, même si ses éléments non structurels peuvent l'être ;
- en cas de séisme de forte intensité, la structure ne doit pas s'effondrer et doit permettre de préserver l'intégrité physique de ses occupants.

Le cas particulier des bâtiments scolaires

La structure des bâtiments scolaires doit remplir d'autres conditions, décrites ci-dessous.

La limitation des déplacements

Il s'agit d'éviter les déformations latérales excessives produites par des contraintes latérales afin, notamment, de réduire sensiblement les déplacements horizontaux susceptibles de survenir lors de séismes.

La limitation des dégâts

En limitant les déplacements, on réduit le plus possible les dommages causés aux structures et de ce fait, le coût des travaux de réparation ou de rénovation nécessaires.

Le diagnostic de l'infrastructure éducative

L'infrastructure éducative du Mexique comprend environ 200 000 établissements. A la suite des tremblements de terre qui ont bouleversé Mexico en 1985, le CAPFCE a mis en place un programme de rénovation. Il comprend le renforcement et la reconstruction des établissements situés dans les zones à risques, afin de les rendre conformes aux conditions définies dans le cadre normatif adopté à la suite de ces séismes. 2 400 établissements d'enseignement ont ainsi été réhabilités entre 1986 et 1991.

Le Fonds national pour les catastrophes naturelles (FONDEN)

Pour faire face aux catastrophes naturelles et venir en aide immédiatement et efficacement aux victimes de dommages personnels ou de pertes matérielles, le Fonds pour les catastrophes naturelles a été créé en 1996 avec la participation des administrations publiques au niveau fédéral, au niveau des états et au niveau local.

Le Fonds pour les catastrophes naturelles est un dispositif financier des autorités fédérales mexicaines qui est habilité à :

- accorder, par le biais d'un fonds reconductible, une aide à la population exposée à l'imminence d'une catastrophe naturelle ;
- offrir une aide aux victimes, en cas de catastrophe, pour faire face à leurs besoins immédiats dans les domaines suivants : santé, alimentation, habillement et hébergement ;
- réparer dans la zone touchée toute l'infrastructure publique ainsi que les biens publics qui ne sont pas assurés ;
- contrôler les sinistres causés aux zones boisées ou à d'autres zones protégées et en financer la remise en état ;
- apporter aux familles à faible revenu une aide pour atténuer les dommages causés à leur logement et à leurs moyens de subsistance ;
- contribuer à la consolidation et la restauration des monuments nationaux ;
- accorder, de manière transitoire, une aide aux services et aux entités fédérales pour la réparation des infrastructures endommagées, en attendant le versement des remboursements dus par les assurances ;
- couvrir l'acquisition des biens et équipements nécessaires pour faire face efficacement et rapidement à une catastrophe éventuelle.

Les centres d'hébergement ou de refuge

Les bâtiments scolaires conformes aux normes actuelles en matière de sécurité des structures peuvent être utilisés comme centres d'hébergement ou de refuge à l'occasion d'une catastrophe. Une réglementation sur l'évaluation des bâtiments susceptibles de servir de refuge est actuellement en cours d'élaboration.

Le choix des sites

Les catastrophes naturelles comportent toujours un élément de surprise et, dans la plupart des cas, les effets peuvent en être atténués, mais pas empêchés.

Cependant, certaines catastrophes, certes déclenchées par des phénomènes naturels, résultent de défaillances humaines comme l'ignorance, la négligence, l'absence de prévision et la corruption, etc. Par exemple, si la construction d'habitations est autorisée sur les sites à hauts risques, le prix à payer tôt ou tard en pertes humaines sera élevé.

Malheureusement, on déplore chaque année dans le monde la perte de vies humaines et de biens matériels dans des zones habitées situées dans des zones à

risques comme les pentes et les lits de fleuve, les ravins, les plaines inondables, les zones d'exploitation minière, etc.

Le Mexique n'échappe pas à ces maux, raison pour laquelle il s'emploie à définir une norme officielle d'application obligatoire, pour le choix des sites aptes à la construction de locaux scolaires, afin d'assurer la sauvegarde des enfants et des jeunes qui fréquentent son système éducatif.

Il appartient à la communauté technique et scientifique de faire comprendre, tant aux hauts fonctionnaires qu'à la société en général, que le fait de vivre dans une zone dangereuse suppose des risques en raison des catastrophes naturelles qui s'y sont toujours produites, avant que ce soit la nature elle-même qui vienne le leur rappeler.

Chapitre 6

La formation à l'éventualité des catastrophes : stratégies pour les écoles turques

par

Marla Petal

Chef du projet d'impact sur la communauté d'Istanbul, Observatoire
et Institut de recherche sismique de Kandilli, Université du Bosphore,
Istanbul, Turquie

Ahmet Mete Isikara

Directeur, Observatoire et Institut de recherche sismique de Kandilli,
Université du Bosphore, Istanbul, Turquie

Remzi Sezgin

Sous-secrétaire adjoint, ministère de l'Éducation, Ankara, Turquie

Historique, avant les séismes de 1999

Avant les tremblements de terre qui se sont produits à Kocaeli et à Düzce en Turquie en 1999, le ministère de l'Éducation à Istanbul avait désigné Ahmet Mete Isikara comme directeur de l'Observatoire et Institut de recherche sismique de Kandilli de l'Université du Bosphore. Il était invité à présider une commission d'éducation sismique chargée d'assurer la mise en place et la diffusion de l'éducation sismique dans les écoles publiques.

La commission était responsable de la déclaration chaque année d'un « mois de l'éducation sismique », mais n'était pas absolument certaine que ce mois était partout assuré.

Peu après le tremblement de terre d'Adana Ceylan en avril 1999, la première publication importante de la commission, intitulée « Les tremblements de terre : comment se préparer à les vivre » a été distribuée aux élèves des écoles secondaires. Il s'agissait d'une diffusion en petites quantités, sans distribution commerciale.

Bien que le tremblement de terre d'Adana ait constitué une occasion de procéder à la sensibilisation aux séismes, ce n'est qu'après deux tremblements de terre dévastateurs survenus dans la région de Marmara que le public en général a commencé à prêter attention aux messages importants traitant de cette question. Un proverbe turc dit : « L'hiver n'est pas arrivé tant qu'il n'a pas neigé sur Istanbul », ce qui reflète l'importance de la région de Marmara pour l'économie turque et l'inconscient collectif du pays. Alors que les tremblements de terre antérieurs survenus en Turquie avaient été catastrophiques en Anatolie centrale (et particulièrement à Erzincan, et en Arménie proche), ce n'est pas avant que le tremblement de terre de Kocaeli ait frappé le cœur du nord-ouest industriel et ébranlé Istanbul que la Turquie a pris conscience de ce qu'elle était exposée à un grave risque sismique.

Après les tremblements de terre de Kocaeli et Düzce : 1999-2000

Peu après les tremblements de terre de Kocaeli et Düzce, l'Observatoire et Institut de recherche sismique de Kandilli de l'Université du Bosphore a signé avec le ministère de l'Éducation un protocole prévoyant la mise en place dans les écoles d'une formation de préparation aux séismes. A.M. Isikara a entrepris une tournée d'un an dans tout le pays, pour dispenser une formation sismique aux écoliers de 29 provinces.

Les premiers livres destinés aux enfants ont été publiés avec l'aide de A.M. Isikara et de Kandilli. L'un d'eux, conçu à l'intention des enfants d'âge préscolaire, était parrainé par la Fondation pour l'éducation maternelle et infantile et avait pour vedette

le chanteur populaire Baris Manço. Le titre du livre : *Préparons-nous aux tremblements de terre avec Barış* était un jeu de mots sur nom du chanteur qui signifie « la paix ». Le deuxième livre, *La terre agitée*, s'adressait aux enfants en âge de fréquenter les premières classes primaires.

En même temps, une petite organisation non gouvernementale américaine, l'*American Friends Service Committee* (AFSC) assurait une formation de préparation aux séismes à Istanbul et parrainait la rédaction de certains documents de base sur la préparation aux risques, notamment « Earthquake Hazard Hunt » (La chasse aux risques de tremblement de terre) et « The family disaster plan » (Le plan des familles en cas de catastrophe). Ces documents étaient destinés à être distribués sous la forme d'une seule feuille de papier *recto verso*. Le texte, volontairement conçu pour apporter un message simple et cohérent, formait deux documents de travail qui faisaient appel à l'action personnelle et familiale.

L'AFSC s'est associée à CNN Turk pour produire douze émissions de cinq minutes chacune, intitulées « Cinq minutes pour la vie », préparées pour le premier anniversaire du séisme. Plus tard, cette série devait être adaptée pour être présentée sur un cédérom, avec accès séparé aux différents segments et inclusion de feuilles d'explication.

Le Rotary Club de Suadiye et un studio d'animation commercial ont coopéré pour produire une série de dessins animés en trois parties appelée *Oncle Secousse et la nature* qui a été diffusée pour la plus grande joie des enfants et des enseignants.

Projet d'impact sur la communauté d'Istanbul (ICIP)

Un an après le séisme de Kocaeli, la *US Agency for International Development, Office of Foreign Disaster Assistance*, a financé un projet de trois ans accueilli par l'Observatoire et Institut de recherche sismique de Kandilli de l'Université du Bosphore. Le Projet d'impact sur la communauté d'Istanbul (ICIP) a centré son action sur l'élaboration de matériel didactique concernant la prise de conscience de base des catastrophes et sur la formation des formateurs en la matière et des équipes de secours d'urgence. Ses comités consultatifs et de pilotage comprenaient des représentants des médias, des administrations régionales et locales, des chambres de commerce et d'industrie, et d'organisations non gouvernementales et communautaires.

Tandis que l'ICIP commençait à mettre au point le programme de base sur la sensibilisation aux catastrophes, le Comité de préparation aux catastrophes du ministère de l'Éducation a proposé que le programme de sensibilisation destiné aux maîtres soit confié à un enseignant de chacune des 3 000 écoles d'Istanbul.

Automne 2000 – automne 2001

Parmi les grandes initiatives prises par l'ICIP au cours de sa première année figurait la proposition, adoptée depuis, invitant le ministère de l'Éducation à faire du 12 novembre une journée scolaire consacrée au souvenir et à la préparation, appelée « Journée des catastrophes ». Étant donné que l'anniversaire du tremblement de terre de Kocaeli tombe le 17 août, pendant les vacances d'été, il était judicieux de

commémorer l'anniversaire du tremblement de terre de Düzce en novembre, époque qui se prête bien aux activités de préparation dans les écoles. Cette journée unique permettrait une meilleure concentration que l'attention répartie sur tout un mois. Elle offrirait en particulier à toutes les écoles une importante occasion de pratiquer leur exercice d'alerte au séisme.

« La Chasse aux risques de tremblement de terre » et « Le plan des familles en cas de catastrophe » ont été distribués par le ministère de l'Éducation à tous les élèves d'Istanbul et, par la suite, de Turquie, au cours de l'hiver 2001. Les enfants ont reçu le document avec leur carnet de notes et ont été invités à le rapporter signé par leurs parents. Une conférence de presse a eu lieu au début de janvier 2001, pour promouvoir le slogan « Nous nous préparons, et vous ? ». Grâce au soutien des médias, le lancement de cette campagne a été très bien couvert par la presse et la télévision.

Pendant les mois suivants, l'équipe de l'ICIP a travaillé à l'élaboration d'un programme de base complet ABCD de sensibilisation aux catastrophes.

Le programme de base ABCD de sensibilisation aux catastrophes et la formation des instructeurs

Le programme de base de sensibilisation aux catastrophes comprend deux parties. Le texte de base de 26 pages couvre les rubriques suivantes : la sensibilisation aux catastrophes, les risques de tremblement de terre, avant, pendant et après le tremblement de terre, et les actions futures. La deuxième partie du livre comporte plus de 30 pages de fiches descriptives couvrant chacune un sujet. Le programme est conçu pour être délivré au cours d'un séminaire d'une heure et demie à trois heures, en fonction du public et de ses besoins.

Pendant que nous commençons à organiser des réunions ABCD pour le public, nous avons formé une équipe de onze formateurs d'instructeurs (quatre membres du personnel de l'ICIP, quatre professeurs de Kandilli, trois instructeurs à temps partiel). Nous avons rédigé un manuel de l'instructeur expliquant comment enseigner le programme et un guide de l'instructeur de l'ICIP offrant quelques normes et quelques « ficelles » de l'éducation des adultes.

La formation des instructeurs comprend trois phases qui commencent par l'assistance régulière à un séminaire ABCD d'une heure et demie ou plus. Deuxièmement, le candidat instructeur étudie de son côté « La chasse aux risques » et « Le plan des familles en cas de catastrophe » chez lui pour parvenir à un niveau de compétence de 80 % qui correspond à la « vie sauve ». La troisième étape est la participation réussie à un programme de formation d'une journée complète, au cours de laquelle le candidat répète le séminaire ABCD, fait une étude approfondie des origines et des raisons de chaque explication, passe une épreuve écrite et participe à un exercice d'enseignement.

Le programme ABCD en coopération avec le ministère de l'Éducation

Notre Commission des tremblements de terre a proposé que nous donnions la formation ABCD des instructeurs à un enseignant de chacune des 3 000 écoles

d'Istanbul. Cette proposition a été agréée par le bureau du gouverneur d'Istanbul. Compte tenu de l'ampleur des objectifs, nous avons modifié le programme pour qu'il puisse être dispensé en un seul jour, sans exigences préalables. Au lieu de l'exercice d'enseignement, nous avons organisé une session interactive avec les enseignants qui étudiaient par petits groupes comment modifier le programme pour l'adapter aux différentes tranches d'âge. Le programme a été délivré à l'automne 2001 en 100 sessions assurées par six formateurs sur une durée de sept semaines.

D'après l'information en retour dont nous disposons, il semble que le programme ait été bien accepté et que soient appréciés le contenu et sa clarté, ainsi que la légitimité des instructeurs. Les instructeurs sont satisfaits. Ceux qui sont tenus d'assister à la formation sans avoir été informés à l'avance sont en général plus récalcitrants que ceux qui viennent spontanément ou sont bien informés auparavant, mais tous expriment leur appréciation et estiment avoir appris des choses importantes.

Dans trois mois, les nouveaux instructeurs ABCD qui travaillent dans les écoles doivent donner la formation à tout le personnel scolaire, à tous les élèves et à une association de parents au moins. Alors que la plupart des enseignants se disent enthousiastes, certains s'inquiètent de savoir s'ils disposeront de l'appui logistique nécessaire à l'accomplissement de leur tâche, et d'autres s'interrogent sur leur propre aptitude à communiquer l'information. Il est encore trop tôt pour savoir quelle sera la réussite de la diffusion. Nous estimons toutefois que même un niveau modeste de mise en œuvre contribuera à la rapidité de la propagation et se traduira par une élévation rapide du niveau de conscience dans la région. La population d'âge scolaire d'Istanbul est de 1.5 million d'individus.

Le matériel de soutien des instructeurs ABCD

Alors que nous commençons à former les instructeurs ABCD, nous avons enregistré une demande immédiate de matériel autre que le manuel ABCD pour étayer l'enseignement du programme. Nous avons commencé à élaborer une série de matériels de soutien pour satisfaire cette demande. La première ressource est un cédérom élaboré autour de douze segments de cinq minutes et intitulé « Cinq minutes pour la vie ». Une fiche descriptive a été créée pour accompagner chaque segment. Sur le même cédérom, nous avons inclus une diapositive illustrant les risques non structurels et les techniques d'atténuation, ainsi que la première version du programme ABCD. La mise au point du cédérom a été soutenue par l'*American Friends Service Committee*, et la distribution des 7 500 premiers exemplaires par la Croix rouge américaine et le Croissant rouge turc.

Un deuxième cédérom est actuellement mis au point à l'intention des instructeurs. Il contiendra le programme sous forme de diapositives (y compris deux courts segments en vidéo). Il y aura trois versions différentes des diapositives, destinées aux diverses tranches d'âge.

Pour les enseignants qui n'ont pas accès à un ordinateur acceptant les cédéroms, nous avons aussi établi une série de 60 transparents qui reproduisent le programme contenu dans le manuel. L'ICIP a aussi commencé à travailler sur la mise au point d'un site Internet (www.iahep.org) pour la diffusion de l'information.

Les instructeurs souhaitaient aussi disposer d'une « boîte à outils » complète. Une version moins onéreuse du matériel pour les instructeurs ABCD a été créée. Elle contient la série de transparents, un nécessaire d'évacuation (lampe de poche, piles, gants de travail, trousse de premiers secours, eau, aliments énergétiques) et un jeu d'échantillons des matériaux utilisés pour l'atténuation non structurelle.

L'atténuation non structurelle était si peu connue que nous avons mis au point un modèle portable d'atténuation non structurelle qui peut être reproduit pour 90 USD. Nous avons cherché des parrainages pour assurer la distribution à chaque circonscription scolaire d'un au moins de ces modèles qui serait partagé par les écoles de la région.

Nous avons commencé à explorer la possibilité d'établir des partenariats avec les organisations non gouvernementales et des volontaires célèbres (comme modèles) et les instructeurs travaillant dans les écoles.

L'atténuation non structurelle et les chefs de file de la jeunesse

Dans le même ordre d'idées, l'*American Friends Service Committee* a parrainé un projet de démonstration modeste mais très efficace dans six quartiers d'Istanbul : Moda, Altunizade, Aataköy, Bahcelievler, Gayrettepe et Kuzguncuk.

Cinquante-six jeunes, âgés de 16 à 19 ans, ont été recrutés et ont bénéficié d'un programme de formation d'une durée de 32 heures qui comprenait : la sensibilisation de base aux catastrophes, l'expérience d'un centre de simulation, une formation pratique aux compétences de l'atténuation non structurelle, une formation sur le tas dans les quartiers, une exposition créée en vue du salon SOS et une cérémonie de remise de certificats (avec tee-shirts et casquettes à la clé). Il s'est avéré que les jeunes véhiculaient de façon remarquable les notions de base de la préparation aux catastrophes. Leurs connaissances et leur confiance constituent une inspiration pour les associations de quartier qui les ont embauchés. On étudie actuellement des programmes de suivi pour consolider ces avancées. On pourrait notamment organiser un camp d'été régional pour assurer le transfert des connaissances entre jeunes chefs de file.

Il nous a paru important, au plan stratégique, de mettre sur pied des événements publics locaux pour faciliter la prise de conscience. Conformément à notre suggestion, un organisateur de salons commerciaux a accepté d'accueillir le premier salon de la préparation aux risques qui coïncidait avec le deuxième anniversaire du tremblement de terre de Kocaeli. Le stand de l'ICIP occupait 100 m² et comprenait une affiche impressionnante illustrant « La chasse au risque » et « Le plan familial », plusieurs maquettes destinées à renforcer quelques concepts de base (par exemple, un puzzle représentant des plaques tectoniques, une « table tremblante » montrant les structures instables et stabilisées, des maquettes de faille, un modèle de protection des biens de famille, une maison ayant fait l'objet d'une atténuation non structurelle, et des livres d'enfants plastifiés géants). A plusieurs reprises au cours de la journée, A.M. Isikara a dédicacé et distribué des exemplaires de ses livres pour enfants.

Une section spéciale de l'exposition destinée aux jeunes intéressés par l'atténuation non structurelle a particulièrement retenu l'attention. Elle comprenait

une démonstration pratique des techniques d'atténuation, des affiches fabriquées par les jeunes et bien davantage. La deuxième exposition était prévue pour novembre 2002, troisième anniversaire du tremblement de terre de Düzce, et devait notamment comprendre des visites sur le terrain pour les écoliers.

Nous avons utilisé un car multimédia pour montrer diverses ressources, et notamment des cédéroms, pendant le salon.

Le développement des possibilités de diffusion

Alors que nous faisons la démonstration de nos avancées à Istanbul, nous avons été pressentis par Local Agenda 21 (PNUD) pour mettre en œuvre un projet parrainé par l'Union internationale des autorités locales (Méditerranée orientale et Moyen-Orient) et la *Swiss Development Corporation*, afin d'étendre le programme à Bursa, Sakarya et Canakkale et ainsi atteindre 1 200 écoles et 500 000 élèves de plus. Le programme fournira deux cédéroms à chaque école et donnera une trousse d'instructeur ABCD et une maquette portable d'atténuation non structurelle à chaque circonscription scolaire.

Les défis à relever

Mettre plus de matériel de formation à la disposition des enseignants

Nous continuons à travailler à l'élaboration du matériel didactique de soutien. L'un des moyens utilisés consiste à établir des « fiches descriptives » sur des sujets très variés touchant à la préparation aux catastrophes. Un autre vise la distribution très générale de matériels didactiques améliorés, au contenu plus complet.

La carte d'information ABCD est l'un des éléments nouveaux. Il s'agit d'une brochure double face en couleur contenant un étui cartonné fermé par un onglet, de la taille d'une carte de visite. La carte contiendra la « Chasse au risque de tremblement de terre », le « Plan familial en cas de catastrophe », les instructions sur la conduite à tenir en cas d'incendie, sur l'utilisation d'un extincteur, sur les moyens de purifier l'eau, sur l'évacuation, sur ce qu'il faut faire pendant et après un séisme, et un système de commande en cas d'incident, une carte de contact avec les zones extérieures à la zone touchée, et les numéros de téléphone d'urgence.

D'autres cédéroms et des matériels vidéo sont en préparation, y compris une série de 32 annonces publiques produites par la Fondation turque de radio et de télévision et financées par Turkcell, la principale entreprise de téléphones portables. Trois nouveaux dessins animés ont été mis au point : *Oncle Secousse et la chasse au risque de tremblement de terre*, *La chasse au risque à l'école*, et une vidéo sur fond musical de rap intitulée *Est-ce que ça va trembler ? A vos marques !*

Nous avons soumis des propositions en vue de la mise au point de matériels d'atténuation non structurelle, d'un manuel sur l'atténuation non structurelle, d'un programme de formation pour les bricoleurs activistes de quartier, d'une vidéo et d'un cédérom.

Nous proposons aussi un important nouveau projet comprenant une série complète des matériels didactiques destinés aux enfants, avec des instructions pour

les enseignants, un site Web avec des activités conçues à l'intention des enfants, un documentaire vidéo présenté par une célébrité pour les élèves de l'école secondaire, ainsi que l'aménagement et la mise à disposition de « l'autobus de l'espoir » avec son personnel, qui fonctionnera comme centre mobile d'éducation.

Les savoirs contradictoires et la nécessité de poursuivre les recherches

Alors que nous allons de l'avant, en notre qualité d'enseignants, de spécialistes des sciences sociales et des sciences de la terre, pour élaborer des stratégies visant à intensifier la prise de conscience du public, force est de reconnaître la grande nécessité de pousser plus loin les recherches. Par exemple, malgré les divers éléments de savoir contradictoires dont nous disposons, nous ne savons pas vraiment quelles sont les manières possibles et sûres de se comporter au cours d'un tremblement de terre. Les conseils en la matière ne sont le plus souvent pas étayés par une recherche systématique. Nous savons peu de choses des causes de décès et de blessure encourues au cours des séismes dans notre région, et guère plus au sujet des modalités d'effondrement des bâtiments. Il est urgent de procéder à d'importantes recherches pour venir à l'appui de notre éducation sismique.

L'exercice d'alerte au tremblement de terre organisé à l'école pose un autre problème intéressant. La première question consiste à savoir à qui il incombe. Relève-t-il seulement des responsables des politiques scolaires et des administrateurs de l'éducation, ou doit-il aussi concerner les ingénieurs sismologues, les architectes et ingénieurs scolaires, les spécialistes des sciences de la terre, la défense civile, les responsables des recherches et du sauvetage des blessés et des premiers secours, et les maîtres de l'enseignement public ? A quel moment faut-il se réunir pour chercher à apporter des réponses cohérentes à ces questions ? En quoi doit consister l'exercice d'alerte au tremblement de terre ? Pourquoi ? Où et quand doit-il avoir lieu ? Et qu'en est-il de l'évacuation des environs ? Les réponses sont-elles fondées sur les risques probables et le type de dommages subis par les constructions scolaires ?

Garder grandes ouvertes les fenêtres d'opportunité

Plusieurs spécialistes de la santé publique ont évoqué dans leurs écrits la « fenêtre d'opportunité » d'une durée de deux ans qui permettrait de modifier les comportements publics. Depuis que nous avons dépassé l'échéance des deux ans, nous n'avons pas constaté de diminution de l'intérêt et les demandes d'éducation continuent de dépasser largement les réponses que nous pouvons y apporter. Nous estimons avoir réussi à placer fermement un pied à l'intérieur de cette « fenêtre ». Nous avons l'intention de la maintenir ouverte et d'entretenir aussi longtemps que possible le flux des recrues et des idées nouvelles. Nous avons bénéficié d'un grand soutien de la part de tous ceux qui, de par le monde, nous ont précédés et nous espérons, à notre tour, que nos efforts constants pour réduire l'impact des catastrophes serviront d'inspiration à d'autres.

Chapitre 7

Préparation aux tremblements de terre et atténuation des risques : les leçons tirées de l'expérience Islandaise

par

Ragnar Sigbjörnsson

Université d'Islande, Centre de recherche en génie parasismique,
Reykjavik, Islande

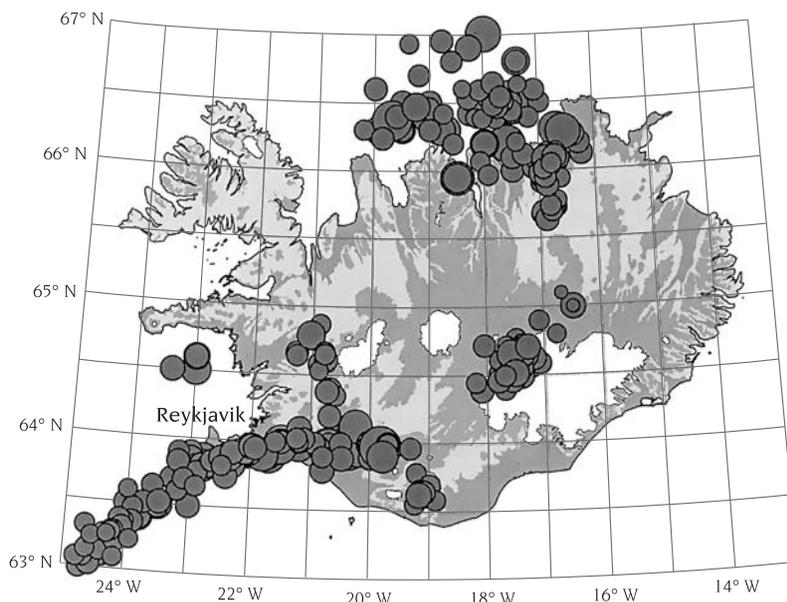
Introduction

L'Islande est naturellement un pays à risques. Au long des siècles, ses régions habitées ont subi nombre de tempêtes de neige et d'orages violents, d'avalanches, de glissements boueux et de glissements de terrain, ainsi que des inondations d'origine fluviale ou marine ou résultant de la libération d'eau glaciaire. Enfin, les tremblements de terre ont aussi fréquemment posé une grave menace. En raison du climat rude et venteux du pays, les constructions sont généralement solides et résistantes aux secousses horizontales provoquées par les tremblements de terre. Ce chapitre traitera plus particulièrement des tremblements de terre et des problèmes qui leurs sont liés. Il comprend notamment une description du contexte sismologique, un aperçu des traditions en matière de construction et de mesures parasismiques et un résumé des mesures d'atténuation des risques sismiques, puis il présente quelques leçons tirées des tremblements de terre qui se sont produits dans le sud de l'Islande en 2000.

Le contexte sismologique

L'Islande est une île située dans la partie nord de l'océan Atlantique, juste en dessous du cercle arctique. L'île se trouve à la jointure des plaques nord-américaine et eurasienne. En traversant l'île, le relief correspondant bifurque vers l'est en direction de deux zones transformantes, l'une au sud appelée zone sismique du sud de l'île, et l'autre au nord, connue sous le nom de zone transformante de Tjörnes, qui passe essentiellement au large de la côte nord de l'île. Tous les tremblements de terre importants en Islande ont leur origine dans ces deux zones. Il existe aussi, en dehors de ces deux grandes zones sismiques, une activité sismique importante, le plus souvent en relation avec des volcans.

La figure 1 montre les tremblements de terre importants enregistrés en Islande. Les cercles désignent l'épicentre des tremblements de terre et leur diamètre reflète l'ampleur des événements correspondants. Les tremblements de terre les plus anciens pour lesquels on dispose de données en Islande datent de 1896, année qui a vu se produire une série d'événements sismiques graves dans le sud de l'île. Les enregistrements ont été effectués par les premières stations sismographiques d'Italie et de Russie. Les premières stations sismographiques d'Islande ont été créées à Reykjavik, où elles ont fonctionné d'abord quelques années seulement, de 1910 à 1914, puis de manière régulière depuis 1928. Les premières stations de surveillance ont été mises en place en 1972 et, depuis 1984, leur nombre s'est accru et elles fonctionnent de manière continue dans le cadre d'un réseau islandais de surveillance (*Icelandic Strong Motion Network*). Outre les données d'observation, les chroniques et documents historiques constituent des sources importantes permettant de remonter jusqu'aux

Figure 1. **Séismes importants en Islande**

Note : Les cercles correspondent à l'épicentre des tremblements de terre et leur diamètre indique la magnitude relative des événements (d'après Ambraseys et Sigbjörnsson, 2000).

premières années de peuplement de l'île. Selon les sources écrites, les premiers tremblements de terre importants ayant provoqué des victimes humaines en Islande se sont produits en 1013.

Au cours du siècle dernier, trois tremblements de terre importants, survenus en 1934, 1963 et 1976, ont frappé des villages situés sur la côte nord de l'Islande. En outre, le plus grand tremblement de terre jamais enregistré en Islande s'est produit en 1910, l'onde superficielle de ce séisme ayant atteint un degré de magnitude de 7.19 (Ambraseys et Sigbjörnsson, 2000).

Les terres basses du sud de l'Islande sont la région sismique la plus active d'Europe du Nord. Les tremblements de terre de 1896 déjà mentionnés et le grand tremblement de terre de 1912 constituent les événements les plus notables enregistrés dans cette région. Les tremblements de terre de 1929, dont l'épicentre se situait dans la péninsule de Reykjanes, méritent également d'être mentionnés. Le premier événement important enregistré par le réseau islandais de surveillance est un tremblement de terre de magnitude 6 dont l'épicentre se trouvait dans la région montagneuse de Vatnafjöll, au sud du mont Hekla. L'événement sismique le plus important enregistré en Islande à ce jour est la série de tremblements de terre qui s'est produite en 2000 dans le sud de l'Islande. Il sera de nouveau question de cet événement plus loin dans la section qui lui est consacrée.

Les mesures parasismiques

Les mesures parasismiques se sont améliorées de manière progressive en Islande. Surtout après les tremblements de terre particulièrement graves, les constructeurs et les ingénieurs se sont efforcés d'améliorer leurs méthodes.

Lors des graves tremblements de terre de 1896 dans le sud de l'Islande, la majorité des bâtiments situés dans la zone épiscopale se sont effondrés. A cette époque, il s'agissait principalement de maisons traditionnelles islandaises en tourbe sèche et en pierre, mais il existait aussi quelques maisons à armature de bois. Cet événement a montré clairement la grande vulnérabilité sismique des constructions traditionnelles islandaises. Les bâtiments à armature de bois, par contre, se sont révélés plus solides et mieux capables de résister aux tremblements de terre, bien que du fait de l'insuffisance de leurs poutres de renfort et de leurs fondations, ces bâtiments aient subi des déformations. Après les tremblements de terre, des directives pour la construction de bâtiments capables de résister aux séismes, incluant notamment des plans architecturaux et des indications techniques en matière de construction, ont été publiées. Les recommandations contenues dans ces directives étaient favorables à l'utilisation du bois pour la construction des maisons et une proposition de bungalow-chambre à coucher isolé de son socle a alors été avancée. Cette proposition a été reçue avec scepticisme et ce type de bungalow n'a jamais été construit.

L'expérience des tremblements de terre de 1929 a également montré que les maisons à armature et charpente de bois pouvaient, si elles étaient bien construites, résister aux secousses sismiques. Par contre, la maçonnerie et les bâtiments en béton non armé se sont révélés extrêmement vulnérables. Les ingénieurs ont alors reconnu l'importance de renforcer le béton à l'aide de barres d'acier et d'assurer la continuité des structures de béton coulées à même le site de construction.

Le tremblement de terre de 1934, qui a gravement endommagé un village de pêche du nord de l'Islande, a conduit aux mêmes conclusions. Les maisons traditionnelles se sont très vite effondrées. Les bâtiments en béton non armé se sont montrés vulnérables ; ils se sont fissurés facilement et ont subi de graves dégâts. Les maisons à charpente et armature de bois, par contre, se sont révélées très résistantes au tremblement de terre. Les principaux dégâts subis par ces maisons tenaient à leurs fondations et non à leurs superstructures. A l'époque, il n'y avait dans la zone épiscopale que deux bâtiments en béton armé, dont l'un était celui de l'école. Ces bâtiments ont résisté au tremblement de terre sans dégât apparent. A la suite du tremblement de terre de 1934, un ingénieur a proposé un modèle de construction remarquable pour les bâtiments en béton armé. Ce modèle incluait la plupart des normes techniques reconnues aujourd'hui. Ces principes ont été appliqués dans la réparation et l'équipement rétroactif de certains des bâtiments endommagés, dont certains existent toujours.

Après la Seconde Guerre mondiale, la construction de bâtiments de plusieurs étages est devenue plus fréquente, surtout à Reykjavik. A cette époque, dans la conception des bâtiments importants, les effets sismiques étaient pris en compte en tant que force statique horizontale équivalente à 1/15^e de la masse du bâtiment. Certaines limites étaient aussi imposées à la distance entre bâtiments adjacents afin d'empêcher les effets de concassage dans les tremblements de terre.

Suite à cette évolution et au grave tremblement de terre de 1976, un code de normes parasismiques de construction prenant pour modèle le code de construction californien (*Uniform Building Code*, UBC) a été publié. Ce code, qui est devenu la norme islandaise IST-13, a introduit la première carte de zonage de l'Islande, le pays étant divisé en trois zones sismiques. L'IST-13 a fait l'objet de plusieurs révisions depuis. Actuellement, les autorités du secteur de la construction s'acheminent vers l'adoption d'Eurocode 8, y compris les documents d'application nationaux (DAN) requis, comme base future des mesures parasismiques dans la construction en Islande.

Les bâtiments scolaires sont généralement considérés comme d'importance particulière dans les codes de construction. Les exigences parasismiques sont par conséquent plus importantes pour ce type de bâtiments que pour les bâtiments ordinaires. Il est utile d'indiquer, dans ce contexte, que les bâtiments scolaires sont fréquemment utilisés comme centres d'urgence en cas de crise, dans le cadre du dispositif d'urgence de la défense civile, par exemple après les tremblements de terre importants.

En Islande, les bâtiments scolaires anciens sont généralement des structures simples, peu élevées, en bois ou en béton. Ces bâtiments se sont révélés résistants aux séismes du fait de leur forte solidité spécifique. Les bâtiments scolaires modernes se caractérisent par une élégance et une fonctionnalité liées à l'emploi de nouveaux matériaux et de nouvelles formes architecturales, ce qui se traduit par une complexité accrue par rapport aux bâtiments anciens (voir figure 2). Il se peut d'ailleurs que ces nouveaux bâtiments soient plus vulnérables que les bâtiments plus simples du passé. L'amélioration des mesures parasismiques, la modélisation informatique et les moyens d'analyse préalables en ingénierie semblent cependant avoir donné aux auteurs de projets de construction les outils nécessaires pour concevoir des structures résistantes aux tremblements de terre.

Figure 2. **Bâtiment scolaire moderne de Selfoss au sud de l'Islande**



Note : Ce bâtiment a dû soutenir des pointes de déplacement au sol d'environ 18 % g le 21 juin 2000. La capacité de résistance exigée est évaluée grossièrement à 50 % g. La distance entre le bâtiment et la faille à l'origine de l'événement était d'environ 14 Km. Aucun dommage important n'a été constaté.

Le facteur le plus important jusqu'ici dans la conception des aspects parasismiques des structures a été la prévention des catastrophes et des pertes en vies humaines. Les connaissances nécessaires pour atteindre cet objectif sont maintenant largement disponibles. La tendance la plus récente des mesures parasismiques vise à assurer un niveau de performance acceptable en cas de tremblement de terre, l'intention étant de minimiser l'endommagement de la structure, de ses équipements et des finitions architecturales, ainsi que du contenu du bâtiment. Pour atteindre ce but, le mouvement sismique induit doit être maintenu à un niveau minimum en termes de déformation et de déplacement. Dans une société moderne, l'infrastructure et les équipements vitaux doivent aussi être conçus de façon à rester opérationnels pendant et après un tremblement de terre. Ceci est particulièrement vrai en Islande où le système de chauffage géothermal, par exemple, est absolument essentiel, compte tenu des conditions climatiques.

L'atténuation des risques

Les basses terres du sud de l'Islande sont la région sismique la plus active d'Europe du Nord et la zone la plus exposée au risque sismique en Islande. D'importantes terres agricoles et quelques villages sont situés dans la zone sismique. Les bâtiments sont essentiellement des maisons familiales en béton à un étage, construites dans la période d'après-guerre. Il y a aussi dans la zone un hôpital et plusieurs centres de soins, plusieurs écoles et quelques équipements industriels. D'importantes usines hydroélectriques sont situées en bordure de la zone sismique qui est traversée par des lignes à haute tension alimentant en électricité la région de la capitale. Un site géothermal important situé au nord de la partie ouest de la zone sismique alimente également, au moyen d'une canalisation de surface, la région de la capitale en eau chaude servant au chauffage des maisons et aux équipements ménagers, ainsi qu'à certaines utilisations industrielles.

En 1996, un projet d'atténuation des risques sismiques a été lancé dans la zone sismique du sud de l'île. Ce projet visait non seulement à collecter des données et à obtenir de nouvelles informations à partir de leur analyse, mais aussi à mettre en œuvre les connaissances acquises, parallèlement aux techniques existantes de génie parasismique, afin d'atténuer les effets des tremblements de terre futurs sur la société islandaise. Ce deuxième objectif était conforme à l'Initiative mondiale pour la sûreté sismique (WSSI), soutenue par l'Association internationale du génie parasismique, approuvant la résolution des Nations Unies relative à la Décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles. Le projet en question a été lancé à l'initiative des autorités locales de la zone et soutenu par les Assurances islandaises pour les catastrophes naturelles et par la Fondation islandaise pour la recherche.

Les mesures suivantes d'atténuation des risques ont été proposées à partir des résultats du projet (Sigbjörnsson *et al.*, 1998) :

- **La sensibilisation aux tremblements de terre.** La première étape, et peut-être la plus importante, consiste à accroître la sensibilisation aux risques de tremblement de terre par la diffusion d'une information objective.
- **La préparation aux tremblements de terre.** Les propriétaires de biens immobiliers peuvent réduire sensiblement les dégâts, ainsi que les risques de

blessure ou même de décès, en empêchant les objets et articles ménagers de tomber, par exemple au moyen d'attaches solides. Les résultats du projet ont montré en outre que les systèmes techniques des bâtiments, en particulier les systèmes de chauffage (géothermal), nécessitaient certaines modifications, en particulier des fixations adéquates. Tous les propriétaires ayant participé à l'enquête de terrain ont reçu des directives à propos d'améliorations spécifiques. Des lignes directrices générales ont aussi été publiées.

- **Les assurances.** Les propriétaires doivent assurer leur bien au moyen d'une assurance complémentaire de l'assurance obligatoire contre les catastrophes naturelles.
- **Le renforcement et l'amélioration des mesures existantes.** Des procédures simples de renforcement des mesures et d'équipement rétroactif visant à améliorer la sûreté des bâtiments et des équipements vitaux existants, ainsi que leur résistance aux tremblements de terre, doivent être mises en œuvre. Ces procédures incluent notamment la planification des contrôles à long terme et l'établissement de priorités pour la réduction et la gestion des risques.

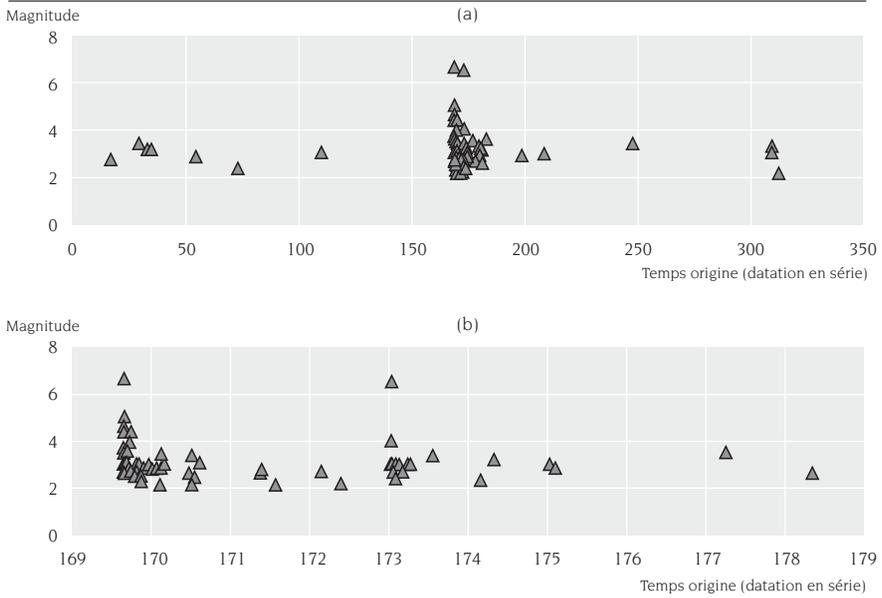
Les tremblements de terre du sud de l'Islande en 2000

Le projet d'atténuation des risques mentionné ci-dessus était à peine fini lorsque ses résultats ont été soumis à un test de grande ampleur : une importante séquence d'événements sismiques au sud de l'Islande. Le premier tremblement de terre a eu lieu le 17 juin 2000, jour de la fête nationale islandaise. Pendant les jours et semaines suivants, une très importante activité sismique a été observée dans toute la zone sismique du sud de l'île ainsi que dans la péninsule de Reykjanes. Les figures 3 et 4 montrent la séquence temporelle et la distribution géographique de ces événements sismiques.

Les tremblements de terre ont provoqué des accidents de surface, des glissements de terrain et des chutes de pierre, entraîné une modification du niveau des eaux souterraines et des perturbations dans les sources chaudes et endommagé des bâtiments et des équipements vitaux. L'impact social des tremblements de terre s'est manifesté en particulier sous forme de fatigue psychologique et d'état de stress post-traumatique dont les effets risquent de se faire sentir longtemps. Les effets économiques ont été atténués grâce à l'assurance obligatoire contre les catastrophes naturelles.

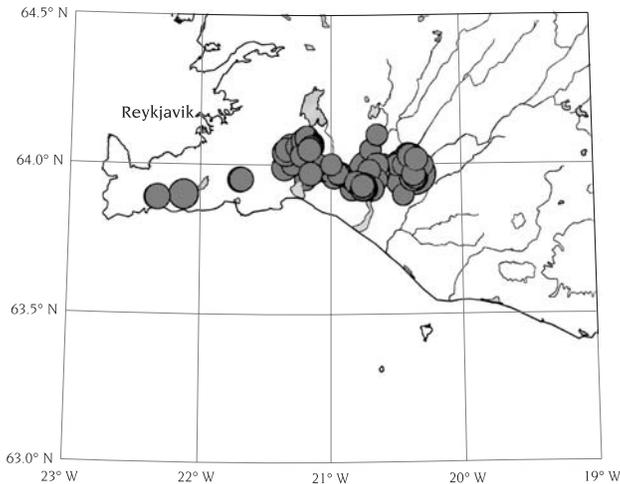
Les deux tremblements de terre les plus importants, tous deux de magnitude d'environ 6.5, se sont produits les 17 et 21 juin 2000. Ces tremblements de terre, dont l'impact a été ressenti dans la plus grande partie de l'Islande, ont gravement endommagé les structures et le contenu des constructions mais aucune personne n'a été gravement touchée. Les structures endommagées sont pour la plupart des bâtiments anciens, des bâtiments aux fondations insuffisantes, des bâtiments du type « maçonnerie » construits à partir de blocs d'agrégat volcanique et des bâtiments comportant des murs de cloison sans valeur de soutènement en maçonnerie. De nombreux bâtiments en béton non armé, ou insuffisamment armé, ont été gravement endommagés, en particulier des bâtiments annexes dans les zones rurales. Les

Figure 3. Séquence temporelle de l'activité sismique en Islande pendant l'année 2000 et séquence des tremblements de terre qui se sont produits dans le sud de l'île à partir du 17 juin



Note : La magnitude des événements est présentée en regard de leur date de déclenchement, les jours étant numérotés sur l'année : (a) Activité sismique en Islande pendant l'année 2000. (b) Les dix jours d'activité sismique la plus intense, à partir du jour 169, c'est-à-dire le 17 juin 2000. Le jour 173 correspond au 21 juin 2000.

Figure 4. Distribution géographique de la série de tremblements de terre du sud de l'Islande en 2000



infrastructures de communication ont été quelque peu endommagées dans les zones épacentrales où les routes notamment ont été fissurées. Les bâtiments scolaires de la zone n'ont pas été gravement touchés et les réparations nécessaires ont pu être effectuées sans difficulté. Par chance également, l'activité sismique la plus importante s'est produite pendant les vacances d'été.

Les secousses les plus violentes ont été enregistrées par pratiquement toutes les stations du réseau islandais de surveillance sismique situé à moins de 150 Km du point d'origine du séisme. Le chiffre le plus élevé de déplacement au sol enregistré pendant le premier grand tremblement de terre était d'environ 64 % g (g désignant le déplacement gravimétrique) au niveau des fondations d'un bâtiment situé dans la zone épacentrale, à environ six kilomètres de la faille à l'origine de l'événement. Lors du deuxième grand tremblement de terre, le pic de déplacement mesuré était d'environ 84 % g sur le pilier ouest du pont qui enjambe la Thjórsá, à trois kilomètres seulement de la faille à l'origine de l'événement. Ces chiffres sont parmi les plus élevés enregistrés au monde pendant un tremblement de terre. Ces mesures montrent que l'action sismique horizontale sur les bâtiments peu élevés dépassait 1 g dans la zone proche du point d'origine ; autrement dit, la force horizontale de résistance exigée était supérieure au poids mort des bâtiments. Par conséquent, les structures situées à proximité du point d'origine des tremblements de terre ont été soumises à un niveau d'excitation bien supérieur à celui envisagé dans le code actuel sur les normes parasismiques en matière de construction.

L'évaluation de l'impact des tremblements de terre et des dégâts qui ont suivi permet d'affirmer que les zones habitées du sud de l'Islande ont résisté de manière étonnante et bien mieux qu'on aurait pu le prévoir. Il y a à cela de nombreuses raisons. Toutefois, il est évident que l'initiative de préparation aux séismes et les programmes de réduction des risques mis en place au niveau des entreprises, des collectivités locales et des particuliers pendant les dernières décennies ont produit les résultats attendus et ont permis de maintenir les dégâts à un niveau inférieur à celui qu'ils auraient pu atteindre.

Conclusions

Les principales leçons de l'expérience de l'Islande peuvent être résumées comme suit :

- **Information.** La diffusion d'une information objective dans les médias aide à atténuer le stress et la fatigue psychologique dans les situations critiques. Il est important de ne pas effrayer le public en abordant des questions sensibles.
- **Sensibilisation aux tremblements de terre.** La sensibilisation du public au problème des tremblements de terre est essentielle pour aider les individus à faire face à la réalité de la menace sismique.
- **Préparation aux tremblements de terre.** Dans un pays où les tremblements de terre sont fréquents, il faut être prêt en permanence à leur éventualité. La mise en place d'un programme de préparation soigneusement conçu, tant du point de vue des particuliers que des entreprises et des collectivités

locales, est un élément essentiel à cet effet. L'expérience montre qu'il est possible de réduire ou de supprimer certains risques d'endommagement des constructions par des moyens simples et peu onéreux.

- **Amélioration des mesures parasismiques en matière de construction.** Nous disposons aujourd'hui des connaissances nécessaires pour concevoir des bâtiments et des structures capables de résister à des tremblements de terre d'intensité modérée. Des méthodes structurelles visant à réduire les risques d'endommagement, y compris en ce qui concerne le contenu des bâtiments, sont actuellement en cours d'élaboration. Les normes de construction des infrastructures et des équipements vitaux doivent être améliorées.
- **Aménagements rétroactifs.** Le renforcement des structures existantes, par exemple en isolant le socle de la construction, peut, dans certains cas, avoir des effets positifs.
- **Planification à long terme : réduction et gestion des risques.** Les risques liés aux tremblements de terre peuvent être réduits et gérés en mettant en œuvre les méthodes de génie parasismiques existantes. Ces méthodes peuvent toutefois sembler onéreuses, au moins à court terme. C'est pourquoi une planification à long terme est nécessaire pour obtenir des résultats économiquement acceptables.
- **Assurances.** Il est très important de pouvoir s'appuyer sur un système d'assurances dans les situations graves. Ceci est apparu clairement après les tremblements de terre qui se sont produits au sud de l'Islande en 2000.

En Islande, les bâtiments scolaires sont généralement considérés comme des structures importantes et font l'objet de normes parasismiques plus contraignantes. Cela est d'autant plus important que les bâtiments scolaires sont utilisés comme centres d'urgence dans les situations de crise, c'est-à-dire en cas de catastrophe naturelle. Pendant l'été, les bâtiments scolaires sont aussi fréquemment utilisés comme maisons de vacances ou comme lieux d'hébergement. Il convient aussi de garder présent à l'esprit le fait que le bon état fonctionnel d'une école ou d'un centre d'urgence dépend non seulement du bâtiment lui-même mais aussi des équipements vitaux qui jouent un rôle essentiel dans les conditions climatiques difficiles qui sont celles de l'Islande.

Références

Ambraseys, N.N. et R. Sigbjörnsson (2000), « Re-Appraisal of the Seismicity of Iceland », *Polytechnica – Engineering Seismology* : Earthquake Engineering Research Centre of the University of Iceland, Selfoss.

Sigbjörnsson, R. *et al.* (1998), « Earthquake Risk Mitigation in South Iceland », *Proceedings of the 11th European Conference of Earthquake Engineering*, Paris, France, Balkema, Rotterdam.

Sigbjörnsson, R. *et al.* (2000), *Earthquakes in South Iceland on 17 and 21 June 2000*, Earthquake Engineering Research Centre of the University of Iceland, Selfoss.

Chapitre 8

La restauration des bâtiments scolaires : aspects opérationnels, scientifiques et sociaux

par

Manolis A. Baltas

Président du conseil d'administration, Organisation de la construction
scolaire S.A. (OSK), Athènes, Grèce

Les bâtiments scolaires, lieux d'apprentissage et de vie quotidienne intimement liés à l'âge tendre de la jeunesse, sont les points de convergence de l'organisation sociale des quartiers, des districts ou des villes. C'est pourquoi, outre leurs fonctions éducatives et esthétiques essentielles, ils doivent inspirer chez leurs usagers, et dans la collectivité tout entière, un sentiment de sécurité face à toutes les formes de danger, et, notamment dans des régions sujettes aux tremblements de terre comme la Grèce, ils doivent inspirer confiance vis-à-vis des risques de l'activité sismique.

Les tremblements de terre seront toujours cause de terreur et de détresse et, tout au moins selon les normes actuelles, représentent le plus incertain de tous les risques naturels. Ce sont des phénomènes stochastiques qui se répètent rarement et sont le résultat d'une activité tectonique et géophysique qui s'étend sur des milliers d'années. C'est parce que nous les observons depuis un temps relativement court que chaque nouveau séisme apporte une ample moisson de surprises et de données nouvelles. Il n'est pas ici question de traiter des aspects historiques, géophysiques ou philosophiques des tremblements de terre. Cependant, comme l'ont fait remarquer certains membres de la communauté universitaire : « L'onde sismique est un phénomène purement naturel qui, en traversant l'environnement bâti, se transforme en un problème technologique ayant un impact matériel, psychologique et social immense sur l'environnement, le public et l'économie ». Nous tenterons donc de traiter ici des effets des tremblements de terre sur les bâtiments scolaires et de leurs effets ultérieurs sur la vie éducative et sociale de la communauté urbaine.

Le 7 septembre 1999, le bassin de l'Attique a subi un tremblement de terre d'une intensité de 5.9 sur l'échelle de Richter. Trente-sept bâtiments se sont effondrés et nombre d'autres ont été gravement endommagés. Après le séisme, on a constaté des dommages, structurels et autres, dans les bâtiments scolaires. Les effets du tremblement de terre sur les bâtiments scolaires ont été rapidement et efficacement traités par l'Organisation grecque de la construction scolaire (OSK).

Pour assurer le retour à la normale le plus rapide possible dans la zone atteinte, l'OSK a immédiatement élaboré un plan d'action dans la nuit du 7 au 8 septembre. Dès le 8 septembre, des équipes d'ingénieurs de l'OSK ont procédé à des enquêtes et des tests dans les bâtiments scolaires appartenant à 20 municipalités situées dans la zone immédiatement au-dessus de l'épicentre du séisme (634 en tout). Au cours des jours suivants, l'OSK a dû étendre son action à toutes les municipalités de l'Attique. Les écoles ont pu ouvrir leurs portes le 20 septembre 1999 et, entre temps, toutes les écoles de la région de l'Attique ont reçu (aux fins d'information de la population) des certificats spéciaux de sécurité des bâtiments.

Les bâtiments correspondant à 2 465 établissements scolaires ont été examinés et estimés comme suit :

- sûrs : 2 036
- peu sûrs : 427
- à démolir : 2

Le 18 octobre 1999, l'OSK a invité 20 ingénieurs scolaires ou ingénieurs civils spécialisés à lui apporter leur soutien scientifique, et 25 entrepreneurs en bâtiment à procéder aux réparations et à l'installation de constructions préfabriquées. Des commissions scientifiques composées de trois membres ont été constituées pour conduire une deuxième série d'enquêtes dans 149 cas où cette action s'imposait tandis que les travaux de réparation commençaient dans les bâtiments qui n'avaient subi que des dommages légers et superficiels.

Il ressort de l'évaluation finale que 44 bâtiments avaient subi des dommages importants et nécessitaient des études spéciales en vue de leur restauration, tandis que six bâtiments devaient être démolis.

Le 31 décembre 1999, les bâtiments correspondant à 396 établissements d'enseignement avaient été réparés et remis en service. Le plan dans son ensemble comprenait les opérations suivantes :

- 2 465 enquêtes ;
- la réparation de 377 bâtiments par l'OSK et de 123 bâtiments par les autorités locales avec l'aide de l'OSK – 44 d'entre eux avaient subi d'importants dégâts ;
- la réquisition de 22 sites ;
- l'installation de 530 salles de classe en matériaux légers ou en préfabriqué solide ;
- la construction de 25 établissements scolaires nouveaux en remplacement des établissements démolis ou gravement endommagés.

Le programme a duré 400 jours et a coûté 42 milliards de drachmes.

Les méthodes et les stratégies adoptées pour résoudre les problèmes au cours du programme ont permis de tirer certaines conclusions d'ordre technique, scientifique et social. Plus précisément :

- Mise à part sa mission immédiate (qui consistait à vérifier la sécurité des bâtiments scolaires), la présence active de l'OSK dans les zones atteintes un jour exactement après le tremblement de terre à fortement remonté le moral de la population et a grandement contribué à atténuer la détresse.
- L'organisme qui se charge de ce genre d'initiative (des administrateurs aux salariés) doit avoir une excellente réputation, être reconnu pour la qualité de ses conclusions et inspirer confiance dans ses activités pendant les périodes de calme relatif. C'était déjà le cas de l'OSK et ce l'est bien plus encore aujourd'hui.
- La première inspection visuelle d'un bâtiment après un tremblement de terre a une importance vitale pour la sécurité car c'est le seul moyen d'observation

dont dispose l'ingénieur. La procédure suivie pour faire du bâtiment scolaire l'évaluation la plus précise possible, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, doit être conçue de manière à pouvoir déterminer s'il est :

- sûr et immédiatement utilisable ;
- sûr et utilisable après réparation des dommages subis par la structure porteuse, ou après réparation des dommages légers limités à la structure porteuse (dans ces cas, les réparations ont commencé aussi rapidement que possible) ;
- dangereux à l'usage et nécessitant des mesures spéciales.

Il est manifestement d'une importance capitale de classer les cas dans l'une de ces trois catégories. Pour favoriser la réussite de cette première activité (enquête, classement et définition du degré de risque) il faut créer un code de communication interne, mettre au point un barème du degré de risque et prévoir un formulaire qui guide la pratique de l'enquête et oblige l'enquêteur à prendre note de l'information nécessaire. Il est intéressant de noter qu'il y a eu, entre les ingénieurs chargés d'examiner un même bâtiment, des différences d'opinion (imputables à leurs expériences différentes) et que les conclusions tirées par les mêmes ingénieurs se sont modifiées à mesure que l'on s'éloignait de la date du sinistre (7 septembre 1999).

- Il faut se souvenir lors de l'enquête et de la restauration des bâtiments que la vulnérabilité et le risque ne concernent pas uniquement la structure porteuse. Suivant la définition donnée de la « faiblesse structurelle », il s'agit d'une faiblesse susceptible d'induire l'effondrement d'un bâtiment ou de nuire gravement aux éléments qui la composent.
- On appelle « faiblesse non structurelle » une faiblesse qui concerne les cloisons, le mobilier et le contenu d'un bâtiment. Par exemple, le renversement d'une bibliothèque, d'une armoire ou d'une lampe, ou le bris d'un panneau vitré peut suffire à infliger de graves blessures.
- Les études menées sur les bâtiments scolaires de l'Attique dans leur ensemble permettent de tirer une conclusion fondamentale : un bâtiment construit en stricte conformité avec les stipulations parasismiques réagit bien et sans dommages importants aux tremblements de terre. Au cours du dernier tremblement de terre d'Athènes, les bâtiments qui ont subi des dommages importants affectant leurs structures porteuses ont été rares et la plupart d'entre eux dataient de plus de 25 ans. Par ailleurs, et pour des raisons qui seront données ci-dessous, les bâtiments construits après 1985 ont bien répondu au séisme et n'ont subi que des dégâts minimes, même lorsqu'ils étaient très proches de l'épicentre. Des bâtiments ont répondu de façon similaire à l'occasion de séismes précédents survenus en Grèce.
- Au cours de la phase de planification des travaux de réparation, la rapidité de la réaction est un important facteur de réussite. La restauration rapide et sûre d'un bâtiment scolaire facilite grandement le retour des familles à une activité normale et diminue les effets du tremblement de terre pendant la période qui y fait suite, ce qui contribue à la reprise sans heurt de l'activité économique et sociale normale.

A cet égard, la méthodologie, la séquence temporelle, et l'ensemble du programme de retour à la vie scolaire normale de chaque unité de population (quartier, faubourg ou municipalité) doivent être préparés en coopération avec les acteurs sociaux (parents, enseignants, élèves, autorités locales) afin que le programme puisse s'inscrire dans le plan économique et social de l'unité en question.

La participation de ces agents aux procédures et aux travaux de restauration d'un bâtiment scolaire est considérée comme un facteur positif car :

- elle impose un plan d'exécution productif ;
 - elle améliore la qualité des actions requises ;
 - elle rassure les usagers.
- Lorsque l'on effectue des études en vue de la réparation de bâtiments dont les structures porteuses ont été très gravement endommagées, une question d'ordre politique se pose souvent pour savoir s'il convient de réparer le bâtiment ou de le démolir.

Les décisions concernant la réparation, le renforcement ou la démolition d'un bâtiment scolaire ne sont pas prises uniquement à partir de la comparaison entre le coût de la réparation du bâtiment et le coût de la construction d'un bâtiment nouveau, comme ce serait le cas pour une résidence privée. Elles prennent aussi en compte les aspects sociaux du bâtiment scolaire, la nécessité de faire en sorte que les bâtiments scolaires en général inspirent confiance (pendant les périodes sans tremblement de terre), ainsi que le rôle historique et culturel du bâtiment scolaire pour un quartier et ses habitants.

A la suite de séismes destructeurs, deux catégories d'opinions s'expriment généralement à propos de l'approche à adopter vis-à-vis des bâtiments endommagés :

- D'après la première, « puisque le bâtiment a survécu au tremblement de terre et ne présente que quelques fissures, aucune autre action n'est nécessaire », ce qui ne tient guère compte de l'importance et de la localisation des fissures et de leur rôle éventuel à l'avenir.
- La deuxième opinion est exprimée par ceux qui ont été terrorisés par la catastrophe et proposent de façon irrationnelle que tout soit renforcé, qu'il y ait eu ou non des dégâts, sans tenir compte du coût économique d'une telle politique.

La meilleure solution consiste clairement à adopter une approche lucide et calme, étayée par des données scientifiques et éclairée par une évaluation de la pratique internationale. La réparation et le renforcement des bâtiments posent un problème difficile auquel la communauté internationale chargée des technologies parasismiques ne s'intéresse que depuis peu.

- Le renforcement des bâtiments scolaires endommagés au moyen de l'application globale de la réglementation tout entière – qui est en fait destinée aux bâtiments nouveaux – n'est pas réalisable dans la pratique. Afin de régler ce problème, l'OSK, avec l'assistance de la communauté académique et des

spécialistes, a établi un schéma en vue de la restauration des bâtiments scolaires fondé sur les normes actuelles. Ce schéma prévoit que, dans les cas ambigus, où le niveau de protection parasismique assuré est douteux, les études peuvent s'accompagner d'une analyse *pushover* conforme aux normes américaines (FEMA 273/97) actuellement en vigueur pour le contrôle du risque dans les bâtiments existants.

A notre avis, la procédure qui convient au renforcement des bâtiments scolaires endommagés doit assurer :

- le renforcement de la résistance et de la plasticité des éléments verticaux ;
- la construction de structures apparentes en vue de l'amortissement des chocs sismiques dans les cas où le bâtiment n'en comporte pas ;
- l'amélioration de la rigidité de la construction afin de réduire les dommages causés à la structure porteuse ;
- le renforcement des éléments horizontaux et des fondations quand leur fonction paraît déterminante en matière de réponse au séisme.

Pour éviter les approches aléatoires, improvisées ou dangereuses, et pour assurer la bonne résolution des problèmes de cet ordre, nous estimons que les instances nationales doivent définir une procédure claire et concrète pour la conduite des études de réparation et de renforcement des bâtiments scolaires, et des lieux publics en général.

- Enfin, il existe d'autres aspects du programme opérationnel qui constituent d'importants facteurs de réussite et d'exécution rapide de l'opération, et notamment :
 - l'existence d'un cadre juridique qui facilite les achats de terrain (réquisitions) ;
 - l'assouplissement des procédures d'obtention des permis correspondants ;
 - une meilleure compréhension scientifique des constructions préfabriquées, dont l'utilisation plus répandue facilite considérablement le retour normal à la vie scolaire.

Voyons à présent quelles sont nos responsabilités dans les périodes autres que celles du séisme lui-même et de ses suites. L'activité sismique fait toujours l'objet de prévisions probabilistes et très incertaines. L'enregistrement systématique des tremblements de terre est, toutes proportions gardées, une activité récente. Les paramètres qui déterminent le caractère destructeur de l'activité sismique – son épicerne, sa profondeur, sa durée, etc. – sont, eux aussi, définis de façon approximative et avec une grande incertitude. Ne pouvant pas maîtriser le risque sismique, nous devons intervenir pour réduire la vulnérabilité des bâtiments scolaires existants.

Les enquêtes menées sur tous les bâtiments scolaires d'Athènes à la suite du tremblement de terre de 1999 montrent que l'entretien laisse à désirer dans bon nombre de ces écoles. Quand l'insuffisance de l'entretien se traduit par la présence de matériaux qui ne sont pas conformes aux exigences de résistance de la conception du bâtiment, elle affecte sa capacité de résistance au séisme. L'érosion des armatures

dans les structures en béton armé et la désagrégation du crépi dans les constructions en pierre en constituent des exemples.

Dans les bâtiments appartenant à un groupe scolaire, l'érosion des armatures avait entraîné le bris du béton très fin qui couvrait la brisure, laissant l'armature sans protection. Le personnel de maintenance avait jugé bon de colorer l'armature avec la peinture acrylique couvrant les surfaces bétonnées du bâtiment. Il existe en Grèce une insuffisance institutionnelle des contrats de maintenance. Pour résoudre ce problème dans les écoles de l'Attique de manière globale et concertée, l'OSK a soumis une proposition au programme divisionnaire du ministère de l'Éducation nationale et du Culte (3^e KPS) en vue de la conduite d'analyses présismiques de qualité de tous les bâtiments scolaires de l'Attique.

Enfin, certains aspects concernent la conception parasismique des nouveaux bâtiments. Notre connaissance de la technologie parasismique s'est beaucoup accrue au cours des dernières décennies. En Grèce, la nécessité de prendre en compte l'activité sismique dans les calculs est apparue en 1959. Par suite du manque de méthodes de calcul et d'outils adaptés, les enquêtes appliquaient une méthode approximative pour calculer l'impact des forces sismiques sur les structures. Les progrès rapides des programmes de calcul et d'analyse statistique ont entraîné une réduction spectaculaire des inexactitudes des simulations et des méthodes d'analyse moins fines, ce qui s'est traduit par une réduction de la vulnérabilité sismique des édifices en béton armé construits après 1985. En 1995, la réglementation en matière de tremblements de terre et celle concernant la conception et la construction des bâtiments en béton ont été radicalement révisées, ce qui les a amenées pour la première fois aux niveaux internationaux, et à la conformité aux normes scientifiques. Malgré quelques insuffisances qui ont entraîné leur révision en 2000, ces réglementations ont considérablement amélioré la résistance parasismique des édifices en béton. Il faut noter que les ingénieurs grecs font raisonnablement confiance à la conception parasismique des nouvelles constructions.

En conclusion, dans les pays sujets aux tremblements de terre, un plan d'action bien conçu et minutieusement préparé de traitement des suites sismiques entraîne des améliorations d'ordre éducatif, fonctionnel, économique et, plus généralement, qualitatif des locaux scolaires et réussit à renforcer les bâtiments pour l'avenir en les mettant en conformité avec les normes actuelles.

Enfin, l'établissement de programmes opérationnels pré ou postsismiques nécessite l'existence d'agences gouvernementales de haut niveau, toujours prêtes à agir et disposant de tous les moyens scientifiques, techniques, fonctionnels et économiques indispensables à l'action. En Grèce, l'OSK est précisément une agence correspondant à cette description et peut se targuer de servir la communauté éducative du pays depuis 40 ans.

Chapitre 9

La planification de la sécurité dans les écoles en cas de séisme

par

Nikitas Papadopoulos

Organisation pour la planification et la protection contre
les séismes (EPPO), Athènes, Grèce

Les écoles rassemblent un grand nombre de personnes et sont fréquentées presque quotidiennement par des jeunes. Avant qu'un séisme ne se produise, il est donc nécessaire de veiller à ce que tant les élèves que les enseignants connaissent parfaitement les procédures à suivre, de manière qu'ils puissent appliquer tout naturellement les principes élémentaires de sécurité. En d'autres termes, toutes les communautés éducatives doivent s'intéresser au problème de la sécurité dans les écoles en cas de séisme.

La planification de la sécurité dans les écoles au moment d'un séisme englobe toutes les mesures et tous les efforts visant à réduire au minimum les lésions corporelles et les dommages causés à l'infrastructure des bâtiments scolaires. De même, des formations à la sécurité en cas de séisme ont été mises au point pour expliquer comment réagir de façon appropriée en cas de secousse sismique.

Informers et conseiller la population constituent l'une des activités principales de l'Organisation pour la planification et la protection contre les séismes (*Earthquake Planning and Protection Organisation*, EPPO). Après avoir évalué la mise en œuvre de divers programmes de sécurité sismique, l'EPPO a estimé que le moyen le plus efficace de favoriser un « comportement sûr en cas de séisme » parmi la population consistait à intégrer une formation adaptée au programme éducatif.

Rôle et activités de l'EPPO dans la planification de la sécurité dans les écoles en cas de séisme

L'EPPO conçoit, met en œuvre et coordonne toutes les activités ayant trait à la formation et à l'amélioration des connaissances aussi bien du public que des représentants des pouvoirs publics en matière de sécurité et d'application de mesures d'intervention d'urgence en cas de séisme. Plus précisément, l'EPPO s'acquitte notamment des tâches suivantes :

- elle élabore et met en œuvre des programmes éducatifs et de formation en matière de sécurité sismique à tous les niveaux du système éducatif ;
- elle publie des manuels d'instruction à l'usage des enseignants, afin d'assurer la formation permanente des élèves ;
- elle publie des livres consacrés à la sécurité dans les écoles en cas de séisme, comme *Earthquake Knowledge Means Protection (Tremblement de terre – savoir, c'est se protéger)*, etc. ;
- elle produit et publie des manuels techniques à l'usage des équipes spécialisées dans l'intervention d'urgence en cas de séisme (équipes de secours, équipes responsables de la sécurité des bâtiments) ;

- elle sensibilise le public à la question, diffuse des informations écrites, organise des colloques destinés au grand public et la projection de films sur la sécurité en cas de séisme ;
- elle coordonne les exercices d'alerte dans les préfectures, les écoles, etc., en conformité avec leur plan d'urgence ;
- elle élabore, organise et assure le suivi des exercices d'alerte.

La tâche consistant à fournir l'information et les instructions nécessaires comporte l'élaboration de programmes de sécurité sismique à grande échelle, comprenant des actions telles que :

- l'élaboration de manuels d'instruction destinés au grand public, expliquant comment réagir avant, pendant et après un tremblement de terre ;
- des expositions d'affiches illustrant comment il faut se protéger en cas de secousses sismiques ;
- des articles dans la presse ;
- des émissions télévisées et radiophoniques ;
- des cours de formation destinés aux élèves de tous niveaux ;
- des conférences publiques sous les auspices d'organisations culturelles et autres ;
- des conférences données dans les établissements d'enseignement et les services spéciaux avec projection de films ;
- des cours magistraux destinés aux groupes, professionnels et autres, concernés, comme les ingénieurs, les collectivités locales et les responsables municipaux, les services techniques, etc.

La formation de la communauté éducative

Les enseignants

L'EPPO a essentiellement concentré ses efforts sur la formation des enseignants en matière de planification et de sécurité dans les milieux scolaires en cas de séisme. Plusieurs programmes de formation, insistant sur le rôle primordial des enseignants dans l'apprentissage des élèves à la façon de réagir en cas de séisme, ont été mis au point. Des séminaires ont déjà été organisés pour 600 chefs d'établissement de la préfecture de l'Attique, ainsi que des enseignants d'écoles primaires et secondaires de la région. Ces séminaires comprennent essentiellement des sessions pratiques destinées à élaborer des stratégies de sécurité sismique efficaces, à mettre en œuvre par les écoles. Ils peuvent comporter jusqu'à 18 heures d'instruction et abordent des questions liées aux séismes, à leur impact sur les bâtiments et sur la population, ainsi qu'à la protection et à la sécurité dans les écoles en cas de séisme. Dans chaque préfecture choisie, deux ou trois enseignants de chaque école sont invités à participer à ces séminaires. L'accent est mis en particulier sur les questions ayant trait à la protection des personnes et aux plans de sécurité d'urgence dans les écoles, qui font l'objet de discussions au sein de groupes de travail de dix à douze enseignants sous la conduite d'un membre du personnel de l'EPPO.

Les élèves

Des cours destinés aux élèves, ayant pour thème la prévention et la sécurité en cas de séisme, sont organisés sous l'égide de l'EPPO et à l'initiative des services concernés (associations de parents et d'enseignants et autorités locales).

Les exercices d'évacuation

Des exercices d'alerte sismique et d'évacuation, lors desquels les enseignants et les élèves collaborent à l'application d'un plan d'urgence adapté à leur école, sont réalisés dans les établissements scolaires sous la surveillance de l'EPPO. Les participants mettent en pratique les réactions imaginées à divers scénarios, de manière à apprendre à réagir en cas de séisme. Le plan d'urgence est ensuite évalué et remanié.

Les mesures de protection parasismiques dans les établissements scolaires

L'inspection des bâtiments scolaires

L'aspect le plus important d'un bâtiment, en particulier d'un bâtiment scolaire, est son comportement dans des situations d'urgence, notamment sa résistance au séisme. Les bâtiments scolaires sont construits en conformité avec les règlements grecs de sécurité parasismique. Cependant, si des fissures se sont déjà formées dans un bâtiment, il est conseillé d'inviter des experts à réaliser une inspection préventive, afin d'évaluer l'efficacité statique du bâtiment et, le cas échéant, de renforcer sa structure.

Il convient de préciser à ce stade que tous les nouveaux bâtiments scolaires sont conçus de manière à satisfaire aux besoins tant des élèves que des enseignants (grandes cours de récréation, escaliers et sorties adaptés, etc.), à garantir un environnement sûr et à permettre l'évacuation en toute sécurité du bâtiment en cas d'urgence. Néanmoins, certains groupes scolaires anciens ne possèdent pas de cour de récréation ou disposent de sorties qui donnent sur des rues principales et très fréquentées ou sont bâtis sur un site entouré de toutes parts d'immeubles-tours. De telles conditions posent des problèmes dans la vie quotidienne et présentent d'autant plus de risques dans des situations d'urgence, comme un séisme. Il serait donc judicieux que les chefs d'établissement signalent ce type de difficultés aux autorités compétentes et proposent des solutions adaptées, qui pourraient même impliquer, le cas échéant, le déménagement de l'école.

L'EPPO amorce et suit, en collaboration avec les enseignants, la préparation de plans d'urgence en cas de séisme, spécialement élaborés à l'usage des écoles.

La préparation d'un plan d'urgence

L'objectif du plan d'urgence est de prévoir des mesures, avant qu'un séisme ne survienne, afin que les enseignants et les élèves puissent réagir dans le calme et la discipline à ses conséquences. Le plan décrit les conditions existantes tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'école et indique les risques potentiels.

Pour être opérationnel, un plan doit être clair et précis. Il doit comprendre les éléments suivants :

- l'analyse des mesures à prendre avant, pendant et après un séisme ;
- l'attribution de tâches spécifiques aux enseignants ;
- la liste des mesures ;
- la mise en œuvre des phases ci-dessus à différents moments de la journée à l'école, à savoir : le matin, l'après-midi, pendant les cours, pendant la pause, lorsque les élèves sont dans la cour de récréation, quand les élèves se trouvent à l'intérieur du bâtiment.

La protection contre les risques

Cette expression englobe toutes les mesures que les enseignants doivent prendre avant un séisme afin d'éviter les blessures graves dues aux dégâts causés aux biens non immobiliers et aux équipements.

- Pour les salles de classe, la salle des enseignants, les couloirs, ces mesures comprennent :
 - la fixation et le scellement des panneaux de verre ;
 - le scellement du mobilier ;
 - la fixation des livres et autres objets sur les étagères ;
 - le stockage des objets dangereux et fragiles dans des locaux sûrs ;
 - la fixation de divers objets et instruments ;
 - la fixation des luminaires et ventilateurs de plafond ;
 - la fixation des tableaux d'affichage, cadres et portemanteaux ;
 - l'achat et l'installation de lampes de poche, d'armoires à pharmacie et d'extincteurs ;
 - le rangement en lieu sûr des réactifs dans les laboratoires de chimie des écoles ;
 - l'agencement des pupitres dans les salles de classe ;
 - l'enlèvement du mobilier inutile ;
 - la fixation des câbles électriques externes et des tuyaux de chauffage.
- Pour les cours de récréation :
 - la fixation des poteaux, panneaux et antennes de télévision ;
 - l'installation de panneaux en verre de sécurité ;
 - la fixation des câbles électriques externes ;
 - l'entretien et fixation des tuiles, clôtures et barrières métalliques.

L'information et la formation des élèves

Les tremblements de terre suscitent la peur et l'insécurité, notamment parmi les jeunes élèves qui ont tendance à paniquer. L'EPPO a pour objectif de veiller à ce que tant les individus (élèves et enseignants) que les groupes (départements,

classes, écoles) sachent ce qu'ils doivent faire en cas de séisme (règles relatives à la protection personnelle). Elle atteint cet objectif en favorisant l'état de préparation en cas d'urgence, en organisant des exercices d'évacuation, en invitant les autorités compétentes à mettre sur pied des campagnes d'information et de sensibilisation à la sécurité.

Les mesures suivantes sont prises pendant la période précédant un séisme :

- l'acquisition de connaissances élémentaires concernant le phénomène naturel des séismes ;
- l'organisation de présentations et d'exposés en collaboration avec les autorités compétentes, destinés à sensibiliser les élèves et les enseignants ;
- l'organisation d'exercices de préparation en cas d'urgence dans les bâtiments scolaires ;
- la préparation de plans d'urgence individuels pour chaque école.

Il convient de signaler que le rôle joué par les enseignants en cas de séisme a une importance primordiale. Ils doivent réagir dans le calme, avec rapidité et sans hésitation et montrer l'exemple aux élèves. En d'autres termes, ce sont les enseignants qui apaiseront les craintes des élèves, les empêcheront de paniquer et auront de façon générale une réaction calme et mesurée. Il est évident qu'ils doivent être parfaitement familiarisés avec les règles de sécurité sismique et connaître les mesures spécifiques, adaptées à leur situation, qu'ils doivent prendre en cas de séisme, car ce sont ces actions qui assureront l'évacuation ordonnée des bâtiments scolaires et donc la sécurité des élèves.

Il faut préciser à cet égard que les enseignants assument l'entière responsabilité de la protection et de la sécurité des élèves depuis le moment où le séisme se déclenche jusqu'à celui où les enfants sont remis à la garde de leurs parents. Les parents ont également pour rôle de favoriser la coordination des mesures prises en cas de séisme.

Les mesures à prendre en cas de séisme

Les séismes peuvent survenir à tout moment, pendant les heures de classe ou pendant la pause.

Séisme pendant les heures de classe

Pendant le séisme

- les élèves et les enseignants doivent se réfugier sous leurs pupitres pendant la durée du séisme ;
- les élèves doivent attendre dans le calme que leur maître leur donne des instructions ;
- ils ne doivent pas quitter le bâtiment ;
- ils ne doivent pas sortir sur les balcons ;
- ils doivent s'écarter des fenêtres et des panneaux de verre ;

- ils ne doivent pas essayer de s'échapper par les fenêtres ;
- ils ne doivent pas essayer d'utiliser les ascenseurs ;
- s'ils se trouvent à l'extérieur au moment du séisme, ils ne doivent pas entrer dans les bâtiments et doivent s'écarter des murs extérieurs.

Après le séisme

L'évacuation des salles de classe : sous la surveillance des enseignants, toutes les sorties sont ouvertes et l'arrivée d'eau et l'alimentation électrique principales sont coupées. Chaque enseignant est responsable de l'évacuation de sa salle de classe. Les enseignants doivent :

- vérifier l'état du bâtiment sur tout le trajet d'évacuation et repérer les risques potentiels ;
- guider les élèves vers les sorties, chaque groupe à son tour ;
- coordonner l'évacuation du bâtiment, de manière à éviter les engorgements et les préjudices éventuels portés aux élèves, et ils doivent ensuite guider leurs élèves vers la zone de rassemblement.

Le rez-de-chaussée est évacué immédiatement et ensuite, chaque salle de classe l'une après l'autre, la première étant la classe la plus proche de l'escalier.

La zone de rassemblement

La cour de récréation est la zone de rassemblement prévue.

- Les enseignants :
 - rassemblent les élèves par classe et les comptent ;
 - détectent tous les élèves blessés ;
 - éteignent les petits foyers d'incendie.
- Les élèves :
 - ne doivent pas retourner dans le bâtiment ;
 - doivent rester à une distance d'au moins cinq mètres des façades des bâtiments et des clôtures ;
 - ne doivent pas boire l'eau du robinet ;
 - doivent éviter tout contact avec les câbles électriques et les barrières métalliques.

Tout le monde doit rester dans la cour de récréation et attendre les instructions. Si des élèves ou des enseignants restent bloqués dans le bâtiment ou si des incendies se sont déclarés, il faut prévenir les services de secours. Si la cour de récréation est jugée dangereuse pour les élèves, les enseignants doivent les amener dans un espace ouvert situé à proximité, qui avait été désigné comme lieu de rassemblement avant le déclenchement du séisme.

Séisme pendant la pause

Pendant le séisme

- S'ils se trouvent à l'intérieur, dans les salles de classe ou dans d'autres locaux, les élèves et les enseignants ne peuvent pas quitter le bâtiment et doivent

s'écarter des endroits à risques, tout en veillant à se protéger contre la chute de meubles ou d'autres objets.

- S'ils se trouvent à l'extérieur, ils doivent rester où ils sont et essayer d'éviter tout risque potentiel.

Après le séisme

- Les enseignants et les élèves doivent suivre la procédure d'évacuation décrite ci-dessus et se rassembler dans la cour de récréation.

Les exercices de préparation

On estime que les exercices de préparation et d'évacuation constituent une partie essentielle du plan d'urgence que les enseignants et les élèves doivent appliquer en cas de séisme. Ces exercices doivent être régulièrement organisés, chaque fois dans des conditions différentes.

Procédure à suivre pour les exercices :

- une date est choisie pour la réalisation de l'exercice ;
- les signaux d'alarme retentissant au début, pendant et à la fin du séisme sont expliqués aux élèves ;
- le signal annonçant le début d'un séisme est déclenché ;
- l'enseignant avertit : « Tremblement de terre ! Tout le monde sous les pupitres ! » ;
- les enseignants et les élèves se mettent à l'abri sous les pupitres et se cramponnent fermement à l'un des pieds de leur pupitre. Personne ne doit bouger, avant que le signal de fin du séisme ne retentisse ;
- le signal annonçant la fin du séisme retentit ;
- l'enseignant ouvre avec prudence la porte de la salle de classe ;
- l'enseignant vérifie le couloir et surveille l'évacuation des autres salles de classe les plus proches de la sortie ;
- l'enseignant dit aux enfants du premier rang de se lever l'un après l'autre ;
- dès que la salle de classe précédente a été évacuée, l'enseignant donne aux enfants du premier rang le signal de sortie du bâtiment ;
- les enfants entrent dans le couloir en file indienne dans le calme et la discipline. Habituellement, les couloirs sont suffisamment larges pour permettre aux élèves d'évacuer le bâtiment deux par deux. Toutefois, il est surtout important que tous les élèves avancent d'un pas régulier et relativement rapide, afin d'éviter un engorgement des couloirs, qui pourrait comporter un risque ;
- l'enseignant de la salle de classe la plus proche de l'escalier reste dans le couloir, pour surveiller l'évacuation des élèves restants ;
- les élèves se rassemblent dans la zone de refuge/rassemblement, en veillant à rester à une distance adéquate des façades et des murs.

Chapitre 10

La restauration structurale d'équipements éducatifs en Grèce

par

George G. Penelis

Professeur spécialisé en structures de béton, Université Aristote
de Thessalonique, Grèce

Introduction

L'état grec se montre très préoccupé par la conservation des équipements éducatifs de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle. Bien que la plupart de ces équipements ne satisfassent pas aux normes contemporaines de construction des bâtiments scolaires au sens strict, leur valeur est grande, car ils font partie de notre héritage culturel et, en outre, ils témoignent, par leur forme et leur ampleur, de la passion de la Grèce pauvre de la fin du XIX^e siècle pour le progrès et le perfectionnement de l'enseignement. Il convient de consacrer à cette passion du peuple grec pour l'éducation une partie des fonds dégagés par la croissance économique que la Grèce a connue au cours des 30 dernières années.

En raison de la grande activité sismique que connaît la Grèce, la plupart de ces bâtiments subissent très fréquemment de nombreux dégâts, qui ébranlent leur système structural, principalement fait de maçonnerie. Le présent document décrit les activités de restauration structurale entreprises dans quelques cas intéressants. Il explique notamment l'approche suivie par les auteurs dans plusieurs cas de restauration, notamment d'écoles élémentaires et de hautes écoles de Macédoine occidentale et également de la Bibliothèque nationale de Grèce à Athènes.

La typologie structurale

On distingue trois principaux types de typologie structurale.

- Les bâtiments de maçonnerie de deux ou trois étages avec terrasses en bois et toits renforcés [école élémentaire Trambatzion à Siatista (figure 1), haute école Valtathonio à Kozani (figure 2), ancienne école élémentaire de Vlatsi, etc.].
- Les bâtiments de maçonnerie de deux ou trois étages avec toits et terrasses en béton armé. Ces terrasses, qui sont en réalité des diaphragmes rigides, ont remplacé les anciens toits et terrasses en bois au début des années 1960 [haute école Tsotili, cinquième (figure 3) et 15^e écoles élémentaires à Kozani, etc.].
- Les bâtiments de maçonnerie de deux ou trois étages avec terrasses et toits à diaphragme semi-rigide, consistant en poutrelles et masses en acier avec charges de briques [ancien bâtiment de l'Université de Thessalonique, Bibliothèque nationale de Grèce (figure 4), etc.].

Les types de pathologie

La pathologie de ces bâtiments après une violente secousse sismique dépend de leur typologie structurale et peut être classée en trois catégories.

Figure 1. **École élémentaire Trambazon à Siatista, Macédoine occidentale**



Figure 2. **Haute école Valtathorio à Kozani, Macédoine occidentale**



Figure 3. **Cinquième école élémentaire de Kozani, Macédoine occidentale**



Figure 4. **Bibliothèque nationale, Athènes**



- Dans les bâtiments avec toits et terrasses en bois, où l'action diaphragmatique est très faible, les murs porteurs réagissent, dans une certaine mesure, indépendamment les uns des autres et présentent, par conséquent, les types de dégâts suivants :
 - des fissures inclinées sur les bords des bâtiments, dégâts caractéristiques du comportement indépendant hors plan des murs ;
 - des fissures horizontales au pied et au sommet des piliers entre les fenêtres en raison des flexions dans le plan ;
 - des fissures verticales sur les tympans des murs extérieurs, au niveau de la porte et des fenêtres, qui sont le signe d'efforts de traction dus à la vibration indépendante des murs.
- Dans les bâtiments avec des terrasses rigides en béton armé, qui assurent une forte action diaphragmatique, les murs de maçonnerie réagissent essentiellement dans le plan et présentent, par conséquent, les types de dégâts suivants :
 - des fissures cruciformes au niveau des piliers en raison d'un cisaillement et d'une compression ;
 - des fissures horizontales au sommet et au pied des piliers en raison d'un pliage dans le plan.

L'altération cruciforme des piliers provoque souvent l'effondrement du bâtiment.

- Dans le cas de diaphragmes semi-rigides au niveau des terrasses et du toit, on constate habituellement des dégâts de type mixte.

La conception de la restauration structurale

La procédure de conception pour la préservation d'un bâtiment comprend les étapes suivantes :

- L'étude structurale.
- La reconnaissance du site.
- Des tests en laboratoire.
- L'analyse de la gravité et des charges sismiques.
- Le choix du plan d'intervention.
- Une nouvelle analyse et reprise de la conception.
- Des dessins, des descriptions, des données techniques.

Il convient de préciser que toutes ces étapes doivent satisfaire aux principes énoncés dans la charte de Venise. Compte tenu des propriétés particulières de la maçonnerie, c'est-à-dire la faible résistance à la traction, le comportement orthotrope et la grande dispersion de ses propriétés mécaniques, plusieurs méthodes d'analyse sont utilisées pour évaluer de façon fiable le comportement du bâtiment en cas de secousse sismique (figures 5, 6 et 10).

Enfin, les matériaux et techniques utilisés pour l'intervention structurale font l'objet d'une grande attention.

Figure 5. Répartition des contraintes subies par Trambazon dans le cas d'une excitation sismique dans le sens transversal

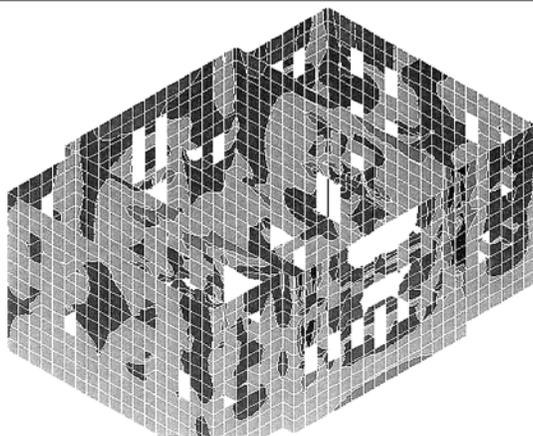
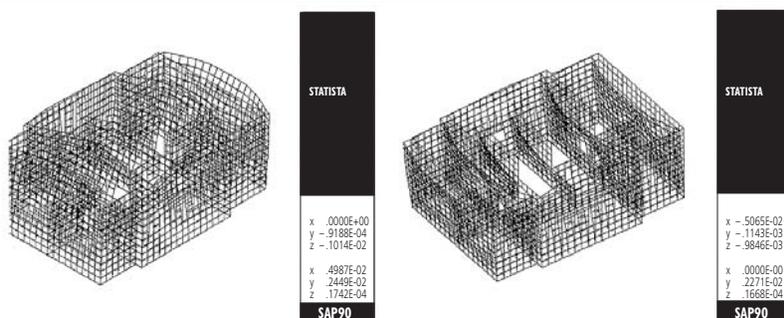


Figure 6. Illustration de la déformation subie par Trambazon dans le cas d'une excitation sismique dans le sens longitudinal



L'étude de cas de la Bibliothèque nationale

Observations préliminaires

La procédure de restauration structurale, qui a été appliquée dans le cas de la Bibliothèque nationale de Grèce à Athènes, propriété du ministère de l'Éducation, est brièvement décrite ci-dessous.

Lors du tremblement de terre qui a secoué le mont Parnitha à Athènes le 7 septembre 1999, un grand nombre de bâtiments situés dans les limites de la ville ont été endommagés. Le bâtiment qui abrite la Bibliothèque nationale est un complexe architectural de style néo-classique, qui s'élève dans la rue Panepistimiou, au centre de la ville d'Athènes. Il a été dessiné et construit au début du xx^e siècle par les célèbres architectes Hansen et Schiller. Le complexe est composé de trois ailes parallèles rectangulaires indépendantes et de trois galeries reliant les deux ailes latérales à l'aile principale. La maçonnerie des bâtiments n'est pas armée, la face extérieure est faite de mégablocs de marbre polis

combinés à des « kions » de marbre, tandis que les planchers reposent sur des poutres d'acier, dont l'intervalle est comblé par des voûtes de brique. L'aile principale est décorée de magnifiques fresques, qui doivent manifestement être préservées.

Le bâtiment abrite actuellement la Bibliothèque nationale de Grèce et par conséquent, il s'agit non seulement d'un monument, mais d'un lieu fréquenté chaque jour par des centaines de personnes exposées à des risques élevés suite aux secousses sismiques, comme la pathologie l'indique.

La pathologie du bâtiment

Le bâtiment souffrait de trois types de dégâts différents :

- type 1 : les dégâts liés au temps ;
- type 2 : les dégâts résultant de la secousse de 1981, qui n'avaient pas été réparés ;
- type 3 : les dégâts dus à la secousse de 1999.

Dans les trois ailes, les dégâts de type 1 consistaient essentiellement en fuites d'eau et en oxydation des poutres en acier, tandis que les dégâts de type 2 et 3 étaient différents pour chacune des ailes.

En particulier, les deux ailes latérales présentaient des fissures inclinées aux arêtes des murs transversaux, qui sont caractéristiques d'un comportement indépendant hors plan de ces murs en raison du manque de contrainte diaphragmatique au niveau du sol et du toit. En outre, des fissures horizontales s'étaient formées au pied des piliers des murs longitudinaux du fait d'une flexion dans le plan. Les tympans des murs longitudinaux présentaient de petites fissures verticales, qui sont le signe d'efforts de traction.

L'aile principale avait subi beaucoup moins de dégâts, ce qui s'explique essentiellement par sa plus grande rigidité et solidité (murs longitudinaux) et par la présence de murs transversaux intermédiaires, qui ont empêché un comportement indépendant hors plan des murs.

La reconnaissance du site et les tests en laboratoire

La reconnaissance du site, de même que les tests et recherches en laboratoire avaient pour but de déterminer le type de sol ainsi que les propriétés mécaniques et chimiques de la maçonnerie. S'agissant du type de sol, d'après l'évaluation des sondages dans le métro d'Athènes réalisés par MECASOL en face du complexe, le sol est composé de roche calcaire légèrement altérée, classée type A compte tenu de la détermination des forces sismiques, et certainement capable de supporter les charges de fondation.

Quant à la maçonnerie non armée, l'étude a consisté en tests et analyses destructeurs (six échantillons carottés) et non destructeurs (test au marteau pour la maçonnerie). Une analyse chimique et minéralogique spéciale a été réalisée au laboratoire d'AUTH spécialisé dans le béton armé. L'analyse avait pour but de déterminer les propriétés chimiques et mécaniques du mortier, afin d'assurer une compatibilité élevée (d'un point de vue chimique, mécanique et esthétique) des produits (enemas) de restauration à utiliser, compte tenu de l'importance du bâtiment

et de la fragilité des fresques. Les propriétés mécaniques de la maçonnerie non armée obtenues après réalisation de tests [EC6 et DIN1053 (1974)] sont présentées dans le tableau 1.

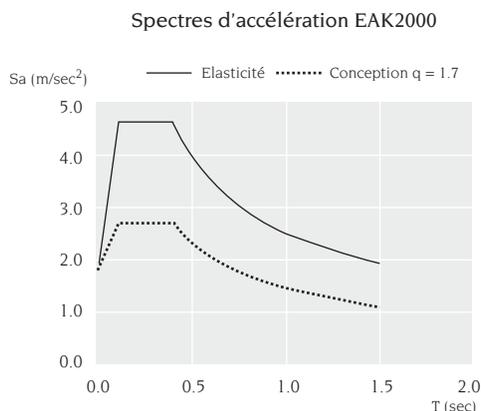
Tableau 1. **Propriétés mécaniques de la maçonnerie non armée : valeurs caractéristiques**

Résistance à la compression	$f_{wk} = 4.50$ MPa
Résistance au cisaillement	$f_{vk} = 0.22 + 0.40\sigma_d$ MPa
Résistance à la traction	$f_{wt} = 0$
Résistance à la traction (hors plan)	$f_{wx1} = 0.18$ MPa (fissures horizontales) $f_{wx2} = 0.31$ MPa (fissures verticales)
Module d'élasticité	$E = 4500$ MPa
Module de cisaillement	$G = 1800$ MPa
Coefficient de Poisson	$\nu = 0.25$

Les modèles analytiques

Deux approches analytiques différentes ont été sélectionnées pour les bâtiments. Dans un premier temps, les trois ailes ont été analysées à l'aide d'une analyse spectrale dynamique de l'élasticité d'un ensemble F.E. d'éléments du plan (enveloppe), dans le but de déterminer les zones de concentration de contraintes ainsi que le comportement global de chaque aile. Ensuite, des analyses (*pushover*) statiques non linéaires des deux ailes latérales où une fissuration importante s'était formée pendant le tremblement de terre ont été réalisées à l'aide de modèles cadres équivalents, car leur fissuration laissait présager un comportement non linéaire. Dans le cas des deux analyses, les charges sismiques ont été déterminées par les spectres du code sismique grec pour la zone de séismicité II ($p_{ga} = 0.16g$) (figure 7).

Figure 7. **Spectres d'élasticité et de conception définis dans le code sismique grec**



Analyse dynamique F.E.

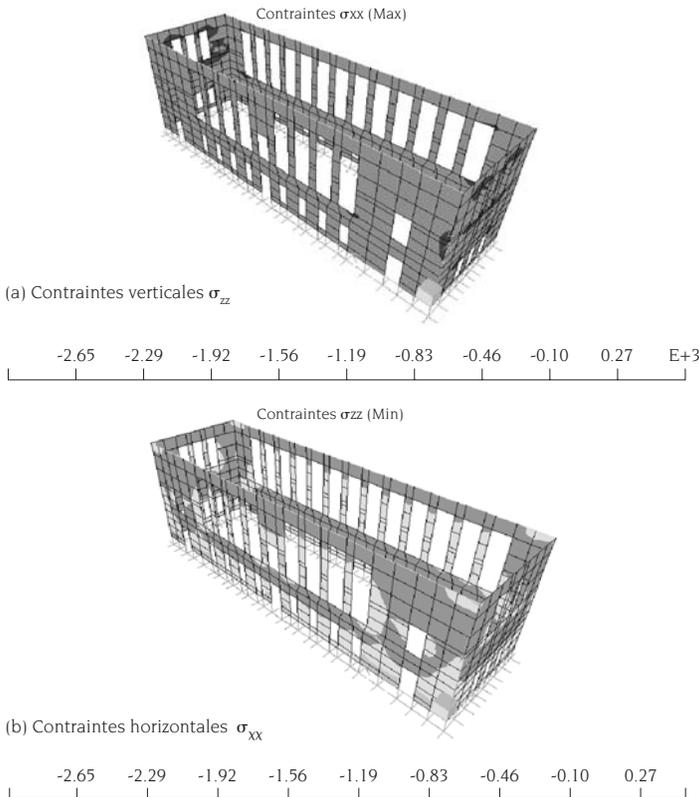
Les ailes latérales

En ce qui concerne les deux ailes latérales, les résultats étaient similaires et sont donc présentés ensemble. Ainsi, le bâtiment avait une faible période de 0.21 sec et ne présentait que des modes transitoires en raison de sa symétrie. Les efforts de traction se sont produits localement au niveau des tympans, ce qui explique les fissures présentes à cet endroit. Des efforts de traction plus importants ont eu lieu au niveau des piliers, causant les fissures horizontales constatées (figure 8). Bien entendu, l'analyse du modèle n'a pas produit la pathologie correspondant au comportement hors plan des deux murs transversaux, car, dans les modèles analytiques, ceux-ci étaient liés aux murs longitudinaux, ce qui laisse supposer que le principal défaut du système structural est ce lien qui, de toute évidence, devait être rétabli.

L'aile principale

Il a été constaté que le bâtiment de l'aile principale était plus rigide que les deux ailes latérales dans le cas d'une période naturelle de 0.165 sec. Il ne présentait

Figure 8. **Analyse dynamique de l'élasticité des ailes latérales**

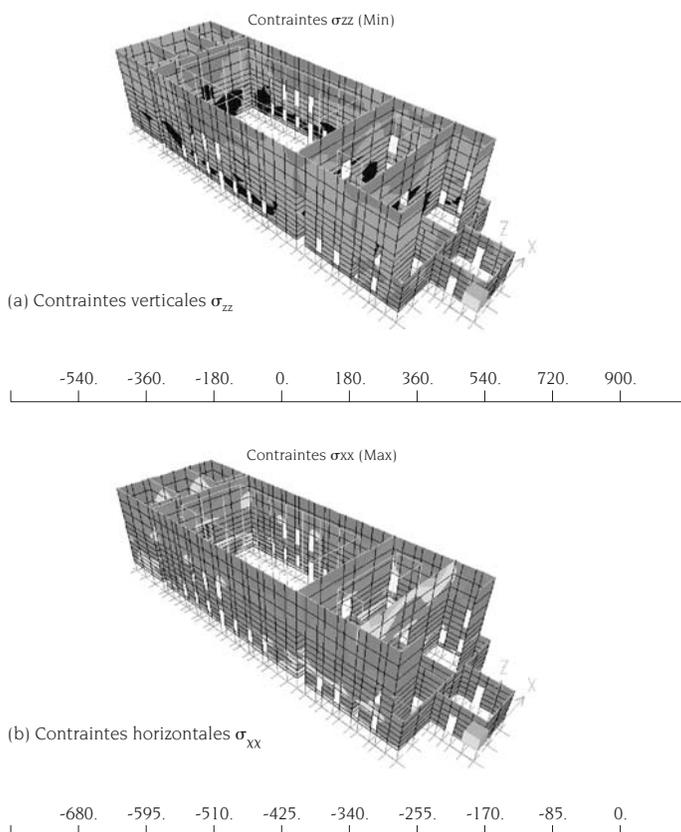


que des modes transitoires en raison de sa symétrie et de la contrainte de torsion élevée attribuée aux murs de maçonnerie périmétriques. Les contraintes étaient considérablement moins élevées que celles appliquées aux ailes latérales (figure 9), car le premier étage ne comporte pas d'ouverture, le rez-de-chaussée des ouvertures plus petites et le ratio du mur de maçonnerie non armée par rapport aux mètres carrés (m^2) du plan est plus élevé dans les deux directions. Ces résultats correspondaient entièrement aux dégâts minimaux observés au niveau de cette aile et ont permis de conclure qu'une analyse plus sophistiquée n'était pas requise pour cette aile et que des restaurations locales uniquement s'imposaient.

Analyse statique non linéaire

L'analyse *pushover* des deux ailes latérales a été réalisée au moyen de cadres équivalents du plan. Le modèle utilisé était un modèle d'élément cadre avec des zones d'anélasticité concentrée. La non linéarité était concentrée en élasticités rotationnelles situées aux extrémités des piliers et tympans. Les diaphragmes moment-rotation (M- θ) des éléments de maçonnerie non armée ont été dérivés suivant une procédure validée

Figure 9. **Analyse dynamique de l'élasticité de l'aile principale**



dans « A New Approach for the Pushover Analysis of URM Structures »¹, et ils ont été utilisés en tant que lois constitutives pour les élasticités non linéaires.

L'usage de deux cadres équivalents du plan indépendants (un par direction) est manifestement une hypothèse prudente, car la participation des murs transversaux est négligée et, comme il a été démontré dans l'analyse dynamique, les modes de torsion n'existent pas.

L'évaluation de l'analyse *pushover* et la détermination du déplacement cible étaient basés sur la procédure du spectre Accélération – Capacité de déplacement – Demande, prescrite par ATC-40². Les spectres d'anélasticité ont été dérivés, en appliquant les formules de Fajfar³ sur les spectres d'accélération élastique du code sismique grec pour la zone II⁴.

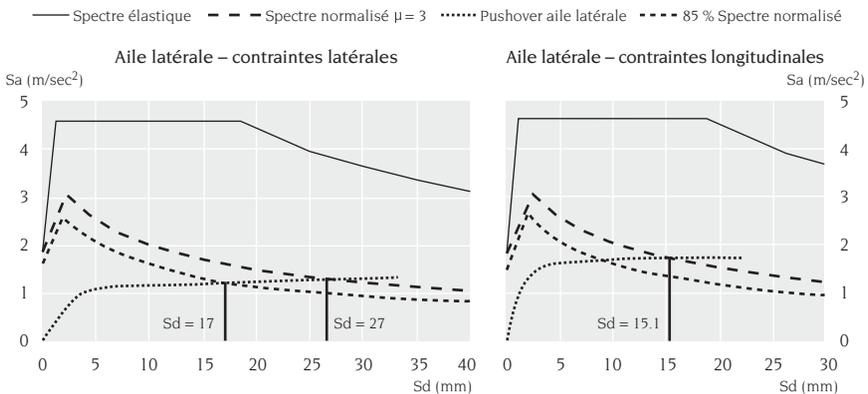
On observe clairement sur ceux-ci (figure 10), dans les deux directions, que le bâtiment peut résister au séisme type, mais en consommant la majeure partie de la capacité d'anélasticité. Cela signifie que dans les deux directions, le bâtiment subirait, sous l'effet du séisme type, des dégâts graves mais non critiques. Ainsi, l'analyse *pushover* a entièrement validé les résultats de l'analyse dynamique de l'élasticité et a permis de conclure à la nécessité d'une intervention légère.

Le plan d'intervention proposé

Comme expliqué ci-dessus, l'intervention a essentiellement porté sur les ailes latérales, hormis pour les dégâts de type I (dus au temps), qui avaient également été constatés dans l'aile principale. En outre, toutes les interventions étaient censées être légères et réversibles.

Ainsi, dans ce contexte, la restauration structurale, dans le cas des deux ailes latérales, impliquait la réalisation d'une zone périmétrique interne, consistant en poutres au niveau du toit, afin de rétablir la contrainte du diaphragme, en utilisant soit du béton avec de l'acier inoxydable comme armature soit un profil uniforme en

Figure 10. Spectre en format ADRS



acier inoxydable, afin d'éviter toute corrosion. En outre, il a été recommandé de placer quatre agrafes en titane par coin par mur, afin d'assurer le comportement uniforme des murs longitudinaux et transversaux. Les fissures dans la maçonnerie non armée ont été comblées avec un produit (enema) dont la composition a été spécialement déterminée pour se combiner d'un point de vue chimique, mécanique et esthétique au mortier existant après réalisation de tests sophistiqués en laboratoire et consultation de la base de données existante au laboratoire d'AUTH spécialisé en béton armé.

Conclusion

D'après le bref exposé ci-dessus et notamment l'étude de cas de la Bibliothèque nationale, on peut conclure que les anciens équipements éducatifs traditionnels de Grèce font l'objet d'un grand intérêt. Les procédures les plus modernes sont appliquées à l'analyse et à la conception, de manière à assurer une conservation à long terme en conformité avec les principes de la charte de Venise.

Notes

1. Penelis, G. (2000), « A New Approach for the Pushover Analysis of URM Structures », 5th International Congress on Restoration of Architectural Heritage, Florence, Italie.
2. ATC-40 (1996), « Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings », ATC, Californie, États-Unis.
3. Fajfar, P. et M. Dolsek (2000), « A transparent nonlinear method for seismic performance evaluation », in Elnashai, A.S. et S. Antoniou, *Implications of Recent Earthquakes on Seismic Risk* (Series on innovation in structures and construction, vol. 2), Imperial College Press, Londres, pp. 165-176.
4. EAK 2000 (2000) « Greek Seismic Code », Athènes, Grèce.
5. Tassios, T.P. (1986), « Mécanique de la maçonnerie » (en grec), Université technique nationale, Athènes, Grèce.