Adana-Ceyhan, Turquie, séisme du 27 juin 1998

Autor(en): **Wenk, Thomas / Lacave, Corinne / Peter, Kaspar**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **124 (1998)**

Heft 21

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79401

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Adana-Ceyhan, Turquie, séisme du 27 juin 1998

Par Thomas Wenk ing. dipl. EPFL, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich
Corinne Lacave, Dr en sismologie, Résonance Ingénieurs-Conseils S.A., Rue J. Grosselin 21, 1227 Carouge
Kaspar Peter ing. dipl. EPFZ, ISS-IBAP, département de génie civil, EPFL, 1015 Lausanne

Introduction

Le 27 juin 1998, à 16:55 heure locale, un séisme de magnitude M_w= 6,2 a frappé la région d'Adana, à l'extrémité est de la côte méditerranéenne turque. L'épicentre a été localisé entre les villes d'Adana (1,2 millions d'habitants) et de Ceyhan (100 000 habitants), environ 30 km au nord de la côte. Le « Earthquake Research Department » (ERD) d'Ankara indique un mécanisme de type décrochement, le long d'une faille dont le pendage est de l'ordre de 65°. Quelque cent cinquante personnes ont trouvé la mort lors de ce séisme, tandis que mille cinq cents autres ont été blessées et que plusieurs milliers sont restées sans abri.

De nombreux dégâts ont été observés sur les habitations rurales traditionnelles. De plus, des bâtiments résidentiels et industriels de plusieurs étages ont été largement endommagés, voire détruits. L'intensité maximale de ce séisme est estimée à une valeur de IX sur l'échelle EMS (anciennement MSK).

Une équipe composée des auteurs de cet article a été envoyée sur place par la Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB) afin d'assurer une mission de reconnaissance post-sismique. Deux aspects importants ont pu être étudiés : l'influence des conditions géologiques locales sur les mouvements sismiques – donnant lieu aux phénomènes « d'effets de site » – ainsi que la vulnérabilité des constructions modernes en place, dimensionnées selon les normes turques actuelles. En particulier, il était intéressant d'examiner jusqu'à quel point les effets de site pouvaient expliquer, au moins partiellement, le caractère ou la répartition des dégâts constatés. Les objectifs assignés à l'équipe furent finalement :

- de pouvoir donner des recommandations, au moins préliminaires, pour la reconstruction afin d'éviter la répétition d'éventuelles « erreurs » ;
- de tirer des conclusions générales, valables également pour le cas de la Suisse, par le biais du « retour d'expérience ».

Ces objectifs ont pu être atteints grâce à une collaboration étroite entre sismologues et ingénieurs.

Deux zones principales ont été étudiées lors de la mission :

- le quartier sud-est de la ville de Ceyhan (Cumhuriyet Mahallesi), où les dégâts les plus importants ont été observés. Il s'agit en grande partie d'un quartier en cours de construction d'où l'intérêt d'une étude plus détaillée de ce secteur ;
- le grand complexe industriel localisé entre Adana et Ceyhan à proximité du village de Suluca. Il s'agit d'un centre d'industrie textile, qui représente l'une des principales activités économiques de la région d'Adana. D'importants dégâts y ont également été observés, engendrant l'arrêt complet de certaines usines pour plusieurs mois.

1. Aspects sismologiques

1.1 Effets de site

Lors d'un séisme, le mouvement du sol peut être considérablement différent d'un lieu à l'autre selon la nature du sous-sol. Ces « effets de site » correspondent à une amplification significative du mouvement du sol à certaines fréquences, du fait de phénomènes de résonance dans les couches superficielles du site. Il est important de prendre en compte ces effets de site lors du calcul de structures, afin d'éviter, en particulier, la coïncidence de la fréquence propre de la structure avec celle du sol, qui peut entraîner des dégâts très lourds.

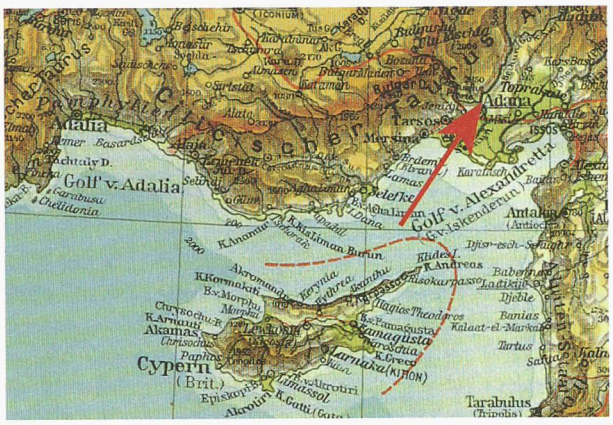
Une méthode empirique d'évaluation des effets de site, méthode dite « de Nakamura » [1][1] a été développée au Japon. Elle consiste à calculer le rapport spectral entre les composantes horizontale et verticale (rapport H/V) d'enregistrements du bruit de fond ambiant. La méthode de Nakamura présente l'avantage d'être relativement facile à mettre en œuvre, c'est pourquoi elle a été étudiée par de nombreux sismologues qui ont pu confirmer qu'elle permet de déterminer la fréquence propre fondamentale du sol. De plus, l'expérience de plusieurs études menées en différents sites dans le monde, a permis de montrer qu'une estimation minimale du niveau d'amplification linéaire du sol peut également être obtenue. La prise en compte du comportement non linéaire du sol lors de forts mouvements peut être assurée, de manière simplifiée, par une réduction arbitraire du niveau d'amplification obtenu pour le cas linéaire, par exemple d'un facteur 2.

Pour chacun des sites étudiés dans la région d'Adana, dix enregistrements de bruit de fond, d'une durée d'une minute chacun, ont été effectués. Les dix rapports H/V calculés à partir de ces enregistrements ont ensuite été moyennés pour obtenir une courbe caractéristique par site.

1.2 Contexte géologique

La région d'Adana est caractérisée par un bassin alluvial de type delta qui s'étend sur plus de 100 km d'est en ouest et environ 70 km du nord au sud. La plus grande partie de ce bassin est remplie de dépôts quaternaires récents de l'Holocène. Au sud-est du bassin, des formations calcaires datant du Miocène, de l'Oligocène et de l'Eocène sont visibles en surface. Dans la partie nord, entre les villes d'Adana et de Ceyhan, ce sont des formations de travertin qui apparaissent en surface. Les deux sites principaux étudiés au cours de la mission sont situés sur les dépôts quaternaires, pour la ville de Ceyhan et en alternance entre dépôts quaternaires et travertin pour le site occupé par l'industrie textile. La figure 1 montre un extrait de la

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



carte géologique, sur lequel sont indiqués les sites étudiés ainsi que la position de l'épicentre déterminée par l'ERD (*Earthquake Research Department* à Ankara).

1. 3 Résultats de l'étude des effets de site

Quartier Sud-Est de Ceyhan

Dans le quartier Sud-Est de la ville de Ceyhan, huit points de mesure de bruit de fond ont été réalisés, pour appliquer la méthode de Nakamura (rapports H/V). Un pic d'amplification bien marqué, à une fréquence de 0,7-0,8 Hz a été obtenu pour tous les sites mesurés, indiquant une grande homogénéité des conditions du sous-sol dans cette zone. La figure 2a montre un exemple du rapport H/V obtenu à l'école technique de Ceyhan. Cette fréquence propre de 0,7 Hz, peut être attribuée à la résonance de l'ensemble du bassin sédimentaire.

Site occupé par l'industrie textile

Les mesures effectuées sur la zone de ce site entre Adana et Ceyhan ont donné des résultats très différents d'un point de mesure à l'autre. Quatre sites ont en effet été mesurés, parmi lesquels deux ne montrent aucune amplification (exemple à la figure 2b), tandis que les deux autres sont affectés par des effets de site importants, conduisant à des rapports H/V de forte amplitude (de 6 à 10), comme le montre l'exemple de la figure 2c. Cette amplification se produit dans la gamme de fréquence de 0,7 à 4 Hz, selon le site. Cette grande disparité observée entre des sites non affectés par les phénomènes d'amplification, et d'autres, sujets à de forts effets de site, à une distance d'à peine 1 km, est attribuée à la variabilité de la nature du sol. L'ensemble du complexe industriel est en effet construit sur une zone mixte, où alternent des dépôts de sédiments meubles et des affleurements de travertin. Les infrastructures implantées sur les sites rocheux (travertin) ne sont donc pas affectées par les effets de site, qui sont par contre très marqués aux endroits où des dépôts de surface de faible épaisseur recouvrent probablement les formations de travertin. Une étude détaillée des effets de site serait donc très importante dans cette zone.

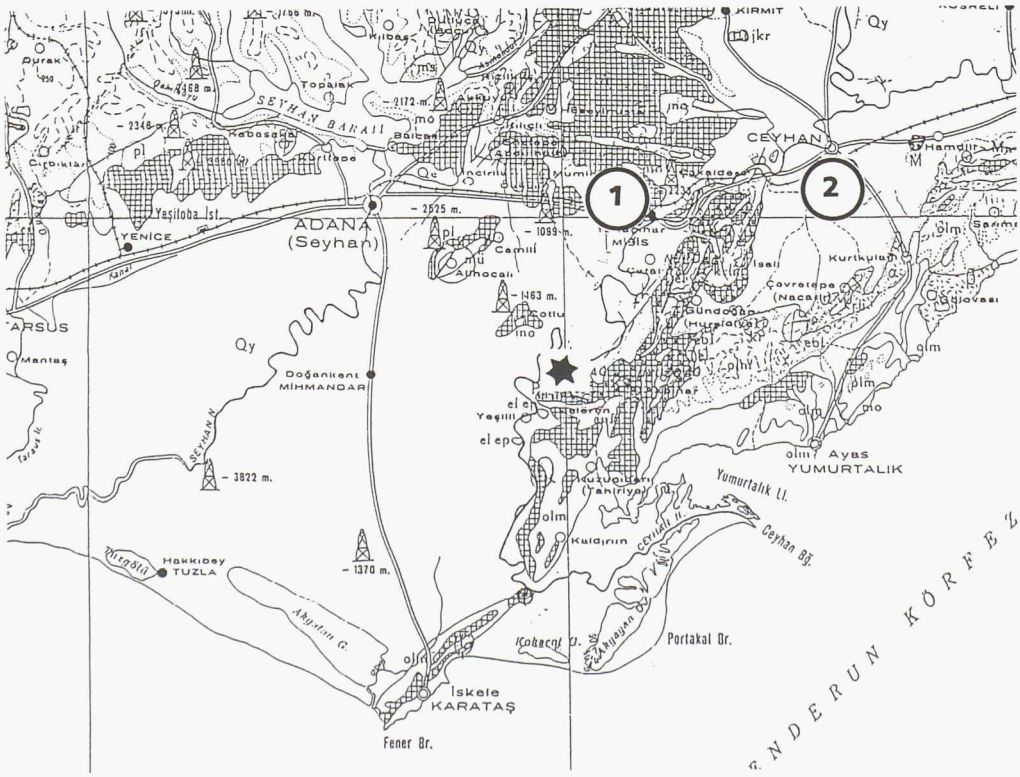


Fig. 1.– Extrait de la carte géologique de la région d'Adana. Le signe Qy indique les dépôts quaternaires, tandis que les zones quadrillées correspondent aux formations de travertin. L'étoile marque la position de l'épicentre du séisme déterminée par l'ERD. Cette carte montre aussi la situation des zones étudiées: 1) le quartier SE de la ville de Ceyhan, 2) le complexe d'industrie textile

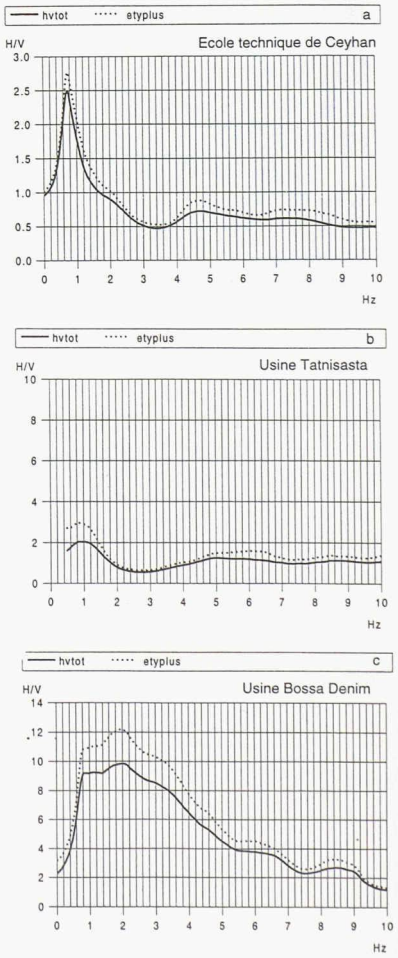


Fig. 2.– Rapport H/V moyen obtenu pour les sites: a) quartier SE de Ceyhan, b) bâtiments industriels situés sur du travertin, c) bâtiments industriels situés sur les dépôts meubles. La ligne pointillée correspond à la moyenne plus un écart type

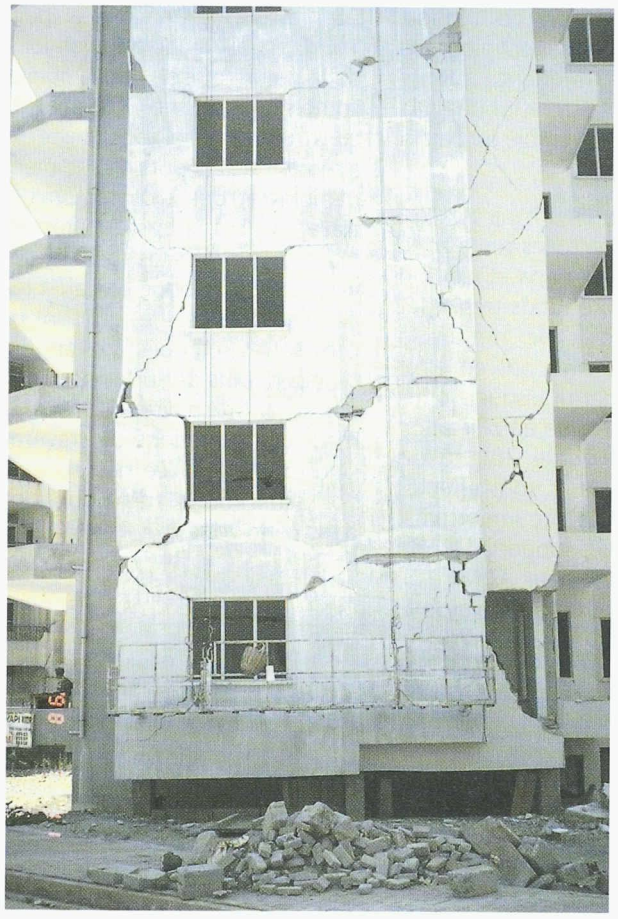


Fig. 3.– Immeuble d'habitation (gros œuvre) présentant des dégâts typiques de murs de remplissage en maçonnerie, avec les fissures caractéristiques en croix (niveau de dégâts 3)

2. Dégâts aux immeubles d'habitation

2.1 Généralités

Dans ce qui suit, on discutera des dégâts causés par le séisme à des immeubles d'habitation modernes situés dans la ville de Ceyhan. En raison de l'exode rural, beaucoup d'immeubles d'habitation ont été construits sur le même schéma au cours des vingt dernières années. Or leur comportement sismique et les dégâts en résultant sont une conséquence directe de leur mode de construction : il s'agit de cadres en béton armé avec des murs de remplissage en maçonnerie.

La figure 3 montre un immeuble d'habitation, au stade du gros œuvre, où les murs de remplissage présentent des fissures en croix, dues à la direction alternée des charges sismiques, tandis que le cadre en béton armé ne présente que des dégâts négligeables. Cela indique que ce dernier se déforme dans la direction horizontale d'une manière plus souple que le mur de remplissage en maçonnerie. La résistance de ces murs diminue au cours du séisme et le cadre seul reprend les charges. La baisse de la rigidité de l'immeuble en est une conséquence. Les efforts tranchants étant maximaux au rez-de-chaussée, c'est là que se trouvent les dégâts les plus importants, comme le montrent clairement les figures 3 et 4.

L'immeuble de gauche sur la figure 4 a subi des dégâts de niveau 5 (destruction) : le rez-de-chaussée s'est effondré. Une partie du bâtiment est affectée par une forte déformation des étages supérieurs, tandis que les étages supérieurs de la partie gauche sont plus ou moins intacts. En revanche, l'immeuble de droite pourra être réparé, car il n'a subi que des dégâts structuraux modérés, soit de niveau 3 (voir section suivante).

La comparaison du type de construction et des dimensions montre que les deux immeubles présentent une forte similitude. Cependant, ils sont orientés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, ce qui explique peut-être leurs réponses si différentes au séisme. Il est aussi possible que la disposition des murs de remplissage du rez-de-chaussée du bâtiment de gauche ait été irrégulière au point d'occasionner sa ruine. Une telle dissemblance de comportement est également due à un manque évident de ductilité, soit, dans le cas présent, un manque de capacité de déformation horizontale. Deux structures possédant suffisamment de ductilité ne présenteraient certainement pas une différence si prononcée.

2.2 Etude de vulnérabilité du quartier Sud-Est de la ville de Ceyhan

Selon l'Echelle Macrosismique Européenne [2], on classifie les dommages aux bâtiments en cinq niveaux qui vont de dégâts négligeables à l'état de destruction. Le bâtiment figurant à la figure 3 présente des dégâts de niveau 3, qualifiés de « subs- tantiels ».

Dans ce quartier Sud-Est de la ville de Ceyhan, les soixante-cinq bâtiments d'un périmètre bien défini ont fait l'objet de relevés. Dans leur grande majorité, il s'agit d'immeubles d'habitation, du type cadre en béton armé avec murs de remplissage en maçonnerie. Une statistique a été réalisée sur les dé-

Fig. 4.- Deux immeubles d'habitation avec des structures porteuses semblables montrent un comportement totalement différent : l'immeuble de gauche est détruit (niveau de dégâts 5) tandis que l'immeuble de droite pourra être réparé (niveau de dégâts 3)

gâts de ces bâtiments en fonction du nombre d'étages, dont la figure 5 donne une vue d'ensemble. Les bâtiments de cinq à six étages représentent la majorité de toutes les structures (66 %) et un tiers d'entre eux (35 %) ont subi des dégâts substantiels (niveau 3) ou plus importants et seule une minorité ne présente qu'un niveau de dégâts de 1 (qualifié de « négligeable »). En revanche, les bâtiments de sept à dix étages ou de deux à quatre étages ont généralement subi des dégâts négligeables (niveau 1).

Pour étudier les effets de résonance et ainsi mieux comprendre pourquoi seuls les immeubles modernes de cinq à six étages se sont effondrés, leur fréquence fondamentale a été calculée. Dans le modèle de calcul, une diminution de la rigidité due à la fissuration du béton armé, d'un facteur 3, a été prise en considération. En outre, la rigidité des murs de remplissage en maçonnerie a été négligée et une certaine flexibilité du sol de fondation a été admise. La figure 6 donne la fréquence fondamentale et le pourcentage d'immeubles endommagés (niveau de dégâts 3 à 5) en fonction du nombre d'étages. Selon les mesures « de Nakamura », la fréquence fondamentale du sol se situe entre 0,7 et 0,8 Hz. Ce domaine de fréquences correspond bien à la fréquence fondamentale obtenue pour les bâtiments les plus touchés, c'est-à-dire les bâtiments de cinq à six étages. Cela signifie vraisemblablement que ces derniers sont entrés en résonance avec les vibrations du sol et ont, par conséquent, subi les plus grandes sollicitations sismiques. Une autre explication, bien que moins probable, tendrait à dire que ces bâtiments présentaient une vulnérabilité plus grande due, par exemple, à une exécution moins soignée ou à une conception parasismique particulièrement défavorable.

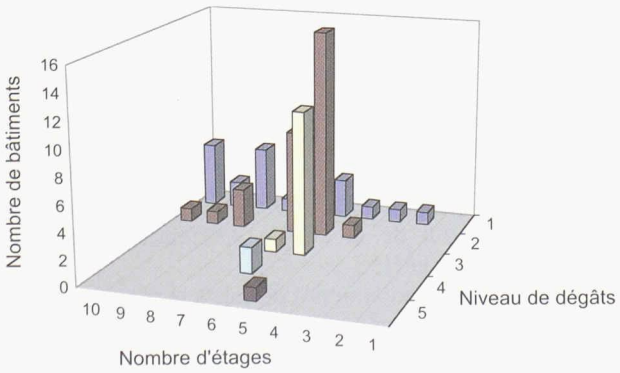


Fig. 5.- Classification des bâtiments du quartier SE de Ceyhan en fonction du nombre d'étages et du niveau de dégâts

Nombre d'étages	Fréquence fondamentale en Hertz	Taux d'immeubles présentant un niveau de dégâts de 3 à 5
3 à 4	1,2	0 %
5	0,9	39 %
6	0,7	33 %
8	0,5	0 %
9 à 10	0,4	0 %

Fig. 6.– Fréquences fondamentales d'immeubles typiques et taux de bâtiments présentant des dégâts de type « substantiellement endommagé » à « destruction »

Fig. 7.– Portion effondrée du toit d'une usine, entraînant la destruction complète d'une chaîne de teinture de textile

3. Dommages dans un complexe industriel

De sérieux dommages ont affecté les halles de production et les bâtiments administratifs du complexe d'industrie textile situé entre Adana et Ceyhan. La plupart de ces halles sont constituées d'éléments préfabriqués en béton armé. Un exemple parmi les divers cas d'effondrement de toitures est montré à la figure 7. Les traverses préfabriquées sont tombées de leurs appuis, trop courts, entraînant la destruction complète de l'une des deux chaînes de teinture du textile.

Dans tous les sites industriels visités, les machines ont été détériorées soit par l'effondrement de certains éléments du bâtiment, soit directement par la sollicitation sismique qu'elles ont subie. Des machines de tissage se sont par exemple renversées (figure 8). De manière générale, les interruptions de production entraîneront de toute évidence plus de pertes financières que la reconstruction des bâtiments eux-mêmes, car dans plusieurs usines, la production était encore totalement interrompue deux semaines après le séisme, les seules réparations déjà entreprises concernant la toiture.

Conclusions

Par rapport à l'ensemble des conséquences d'un séisme, le coût

Fig. 8.- Machines de tissage qui ont été renversées au sol du fait de la sollicitation sismique qu'elles ont subie

relatif des pertes de production augmente fortement avec le développement économique d'une région ou d'un pays. Il est donc important, lors du dimensionnement sismique des ouvrages industriels, d'attacher une importance accrue à ce problème.

Comme beaucoup de catastrophes passées l'ont montré, les bâtiments composés de cadres en béton armé et murs en maçonnerie non armée constituent une association particulièrement inadaptée en cas de séisme [3]. Ce mode de construction amène en effet une très forte incompatibilité au niveau des capacités de déformation mutuelles dans la direction horizontale.

L'étude des dégâts de soixante-cinq immeubles dans un quartier de la ville ce Ceyhan a montré que les immeubles de cinq à six étages ont été particulièrement touchés par le séisme. Ce phénomène peut être expliqué par un effet de résonance de ces bâtiments à la fréquence propre de 0,7-0,8 Hz du sol, laquelle a été mesurée au moyen de la méthode dite de Nakamura. Grâce à cette technique relativement simple, il est possible de déterminer les effets de site qui ont une influence prépondérante sur les structures soumises à une action sismique.

Remerciements

La SGEB tient à remercier tout d'abord le Corps suisse d'aide en cas de catastrophe pour sa participation au financement de cette mission. Les instruments de mesure utilisés sur place ont été gracieusement prêtés par les sociétés *Geosys AG* et *Résonance SA*.

Nous adressons également nos remerciements à Mme S. Tinic, MM. J. Studer et M. Koller pour le temps qu'ils ont consacré à l'organisation de la mission. Sur place, notre équipe a pu bénéficier de l'aide précieuse de M. Yilmaz (ERD Ankara) et des professeurs M. et Mme Altan, ainsi que de M. Aydogan (Université d'Istanbul).

Bibliographie

[1] NAKAMURA Y.: « A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface », *Quarterly Report*, Vol. 30, No.1, RTRI, Japan, 1989

[2] GRÜNTHAL G. et al.: « European Macroseismic Scale 1992 (updated MSK-scale) », *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Vol. 7. Conseil de l'Europe, Luxembourg 1993

[3] BACHMANN H.: « Erdbebensicherung von Bauwerken », Birkhäuser Verlag, Basel, 1995

Le titre d'ingénieur EPFL reconnu en France

Les diplômes d'ingénieur EPFL sont désormais reconnus par la France. La décision prise par le ministère français de l'Education nationale, de la recherche et de la technologie est effective dès le 1er septembre 1998, ce pour une durée de six ans. Cela signifie pour les titulaires d'un diplôme EPFL qu'ils ont le droit de porter en France le titre d'ingénieur diplômé. L'EPFL est la première école étrangère dont le titre d'ingénieur est reconnu par la France.

Cette bonne nouvelle pour les ingénieurs EPFL désirant exercer leur activité professionnelle en France intervient quatre ans après la décision française de reconnaître le titre d'architecte EPFL. En ce qui concerne les ingénieurs, les démarches pour cette reconnaissance du titre ont commencé en 1992 déjà. La commission française du titre d'ingénieur avait visité l'EPFL en janvier 1992 et émis un avis favorable en septembre de la même année. C'est finalement une nouvelle visite d'une délégation de la Commission du titre, en janvier de cette année, qui a permis d'accélérer les démarches, avec l'appui de la cellule « Relations internationales » de l'EPFL.

Cette visite a notamment permis à la délégation française de constater que les ingénieurs EPFL avaient, en plus de leur formation scientifique, des connaissances linguistiques et en sciences humaines remplissant les conditions nécessaires à cette reconnaissance.