
UNE RAISON SUFFISANTE POUR REDÉFINIR L'INTENSITÉ SISMIQUE: ÉVITER DES ERREURS DANS L'ESTIMATION DE L'ALÉA SISMIQUE

Horea SANDI¹, Ioan Sorin BORCIA²

RÉSUMÉ

L'objet du travail est représenté par une tentative de contribuer à une adaptation du concept d'intensité sismique aux besoins de l'activité de l'ingénieur. Une première condition de ce point de vue est d'accorder l'attention due au contenu spectral du mouvement du terrain. On présente un cas où des approches rudimentaires ont mené à des estimations erronées de la sévérité du mouvement du terrain, ayant pour conséquence des estimations erronées de l'aléa sismique. La principale conclusion qui en résulte est qu'il est impérieusement nécessaire de spécifier le domaine spectral pour lequel les données macrosismiques sont significatives et, par conséquent, de considérer (et même de définir) l'intensité sismique déterminée à la suite des inspections post-séisme par rapport à un certain intervalle spectral. On présente ensuite une méthodologie proposée pour définir et déterminer l'intensité sismique à base des données instrumentales et, de plus, pour définir et déterminer des spectres d'intensité sismique. On donne des exemples illustratifs.

Mots-clés: intensité sismique; spectre d'intensités; aléa sismique; risque sismique

ABSTRACT

The object of the paper is represented by an attempt to contribute to an adaptation of the concept of seismic intensity to the needs of engineering activities. A first condition in this connection is to pay the attention due to the spectral contents of ground motion. A case where rough approaches have led to erroneous estimates of ground motion severity, resulting in erroneous hazard estimates is presented. The main conclusion derived is represented by the strong need to specify the spectral interval for which macroseismic data are relevant and, as a consequence, to consider (and even to define) seismic intensity derived from post-earthquake surveys as related to a certain spectral interval. A methodology proposed in order to define and determine seismic intensity on the basis of instrumental data and, moreover, to define and determine seismic intensity spectra is then presented. Some illustrative examples are given.

Keywords: seismic intensity; intensity spectra; seismic hazard; seismic risk

1. INTRODUCTION

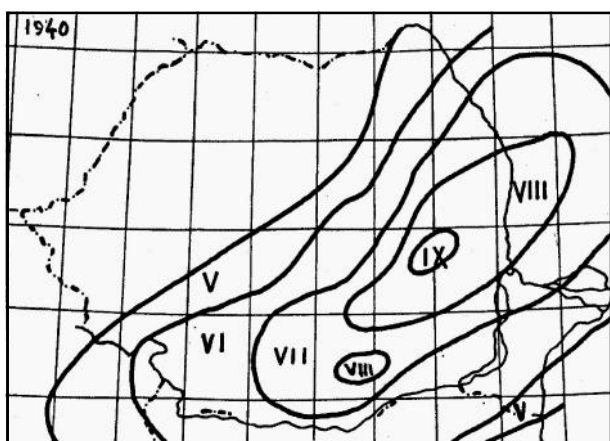
Prenons comme références les deux échelles d'intensité sismique le plus récemment approuvées par la Commission Sismologique Européenne, notamment MSK-76 (Medvedev, 1977) et EMS-98 (Grünthal, 1998). Aucune d'entre elles ne prête un intérêt à la composition spectrale du mouvement

sismique du terrain. De plus, l'échelle EMS-98 a totalement renoncé à spécifier des critères instrumentaux pour estimer l'intensité sismique (tandis que les critères instrumentaux spécifiés par l'échelle MSK-76 avaient été infirmés dans des nombreux cas et sujets, par exemple en (Aptikaev, 2005), à la suite d'une ample étude statistique, à une sévère critique).

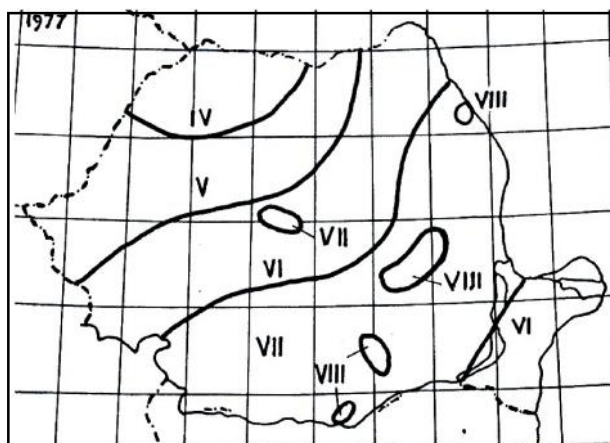
¹ Institut de Géodynamique de l'Académie Roumaine, M., Académie des Sciences Techniques de Roumanie, e-mail: horeasandi@yahoo.com

² Institut National de Recherche et Développement dans la Construction, l'Urbanisme et le Développement Territorial Soutenable – «URBAN – INCERC», Branche INCERC de Bucarest, e-mail: isborcia@yahoo.com

L'objet de l'article est de présenter quelques arguments forts en faveur d'une redéfinition du concept d'intensité sismique et de proposer ensuite une voie de répondre à cette nécessité (Sandi *et al.*, 2010). Les arguments sont constitués en essence par les possibilités d'arriver à des conclusions erronées concernant l'aléa sismique, engendrées par l'utilisation du concept traditionnel d'intensité sismique, illustrées par une étude de cas (Bucarest).



a. Carte macrosismique de Roumanie, 1940.11.10



b. Carte macrosismique de Roumanie, 1977.03.04

Fig. 1. Cartes macrosismiques de Roumanie, pour les séismes destructeurs de 1940.11.10 et 1977.03.04 (Radu & al., 1990)

La voie proposée pour la redéfinition de ce concept est constituée par l'adaptation aux nécessités de précision spécifiques à l'activité de l'ingénieur et par l'utilisation des données instrumentales (accélérographiques). La voie de redéfinir l'intensité sismique part d'une postulation de quelques expressions analytiques, utilisées dans divers cas pratiques et, selon l'opinion des auteurs, confirmées d'une manière satisfaisante. On en présente un aperçu général.

2. UN CAS ILLUSTRATIF POUR LES INSUFFISANCES DU CONCEPT TRADITIONNEL D'INTENSITÉ SISMIQUE

Le cas discuté est celui de la suite de forts mouvements sismiques (ayant eu leurs sources dans la zone VSZ – Vrancea) qui ont affecté la zone de Bucarest pendant le vingtième siècle, dont on mentionne ceux du tableau 1.

Il faut mentionner ici que les séismes de 1940 et de 1977, les plus forts de ce tableau, ont été particulièrement sévères, provoquant de vrais désastres des points de vue social et économique, tandis que les séismes de 1986 et 1990 ont eu des effets limités. Il faut mentionner aussi, en ce que concerne les données instrumentales (accélérographiques), que celles-ci ont totalement manqué en 1940. En 1977 on a obtenu de telles données au niveau du terrain seulement à INCERC – Bucarest. Lors des séismes de 1986 et 1990 on a obtenu des données riches, suite au considérable développement post-1977 du réseau accélérographique, grâce surtout au généreux don post-séisme de l'Agence de Développement International du Département d'État des États-Unis d'Amérique.

Tableau 1.

Données générales concernant les séismes forts de Vrancea de 1940, 1977, 1986 et 1990

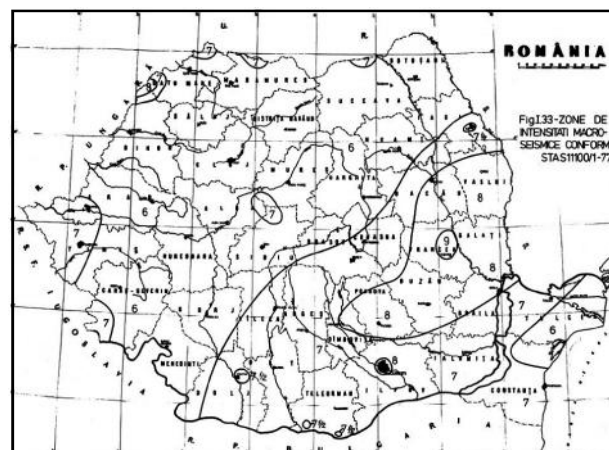
No.	Date du séisme	Code du séisme	Épicentre instrumental		Profondeur, h (km)	M_{GR}	M_w
			Latitude N	Longitude E			
1	1940.11.10	401	45.80	26.70	150	7.4	7.7
2	1977.03.04	771	45.34	26.30	109	7.2	7.5
3	1986.08.30	861	45.53	26.47	133	7.0	7.3
4	1990.05.30	901	45.82	26.90	91	6.7	7.0
5	1990.05.31	902	45.83	26.89	79	6.1	6.4

Suite aux enquêtes post-séisme effectuées en 1940 et 1977, conformément respectivement aux méthodologies prévues par les échelles MCS et MSK-64, on a élaboré les cartes d'isoséistes présentées dans les figures 1.a et 1.b (Radu *et al.*, 1990). En regardant ces cartes, on remarque que, dans les deux cas, Bucarest (coordonnées du centre : 44.44 N, 26.10 E) appartient à des îles d'étendues limitées qui auraient été affectées par l'intensité VIII, plongées dans de larges zones qui auraient été affectées à leur tour par l'intensité VII. La conséquence de ce résultat a été que la carte de zonage sismique de Roumanie, en vigueur jusqu'en 1991 (figure 2.a), établissait une intensité VIII pour Bucarest et une intensité VII pour la zone environnante.

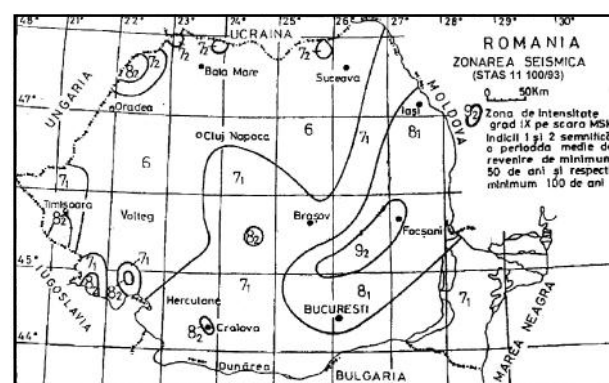
Les profils géologiques traversant Bucarest dans les directions N-S et E-O ne justifient point une telle conclusion. En revanche, selon ces profils, les intensités devraient être similaires pour Bucarest et ses alentours. Les riches données accélérographiques obtenues lors des trois forts séismes de 1986 et 1990 ont montré que les spectres d'accélération absolue étaient similaires pour Bucarest et le voisinage, ce qui a permis au premier des auteurs de convaincre en 1991 les sismologues que l'île de Bucarest de la carte de zonage devait disparaître et d'accepter la solution adoptée pour les cartes de zonage de 1991 et 1993, dont la plus récente (influencée à son tour aussi par les séismes de Banat <zone ouest de Roumanie> de 1991) est présentée dans la figure 2.b.

La considération de quelques-unes des données instrumentales obtenues lors des trois séismes de 1986 et 1990, mentionnés dans le tableau 1, est particulièrement instructive. On présente à ce but dans la figure 3 les emplacements des stations accélérographiques de Bucarest et du voisinage. On présente ensuite dans la figure 4 les spectres d'accélération absolue pour les accélérogrammes de la station de Bucarest-INCERC, obtenues lors des séismes de 1977.03.04, 1986.08.30 et 1990.05.30.

Les spectres de 1977.03.04 sont caractérisés par un intervalle d'ordonnées maximum de longues périodes, de l'ordre 1.5 s. Suite de cette particularité, une trentaine de bâtiments, tous relativement flexibles (ayant eu comme règle des



a. Carte de zonage sismique de Roumanie, approuvée en 1977 (IRS, 1977)



b. Carte de zonage sismique de Roumanie, approuvée en 1993 (IRS, 1993)

Fig. 2. Cartes successives de zonage sismique de Roumanie

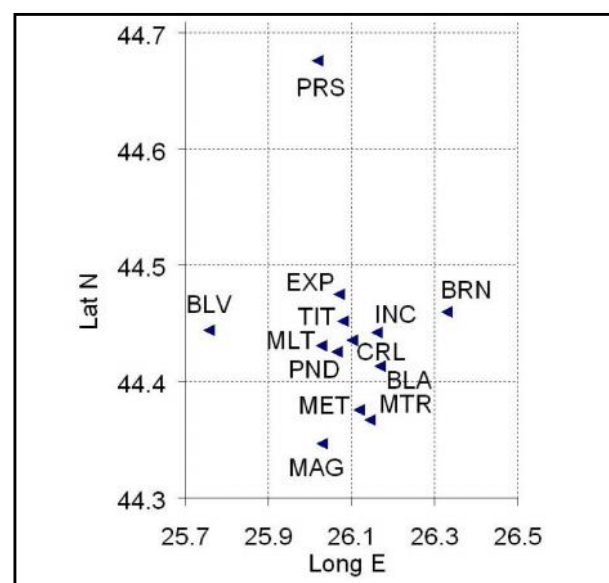


Fig. 3. Stations accélérographiques de Bucarest et du voisinage (les stations PRS, BLV, BRN et MAG sont situées hors du territoire de la ville, à quelques dizaines de kilomètres du centre, où se trouve la station CRL)

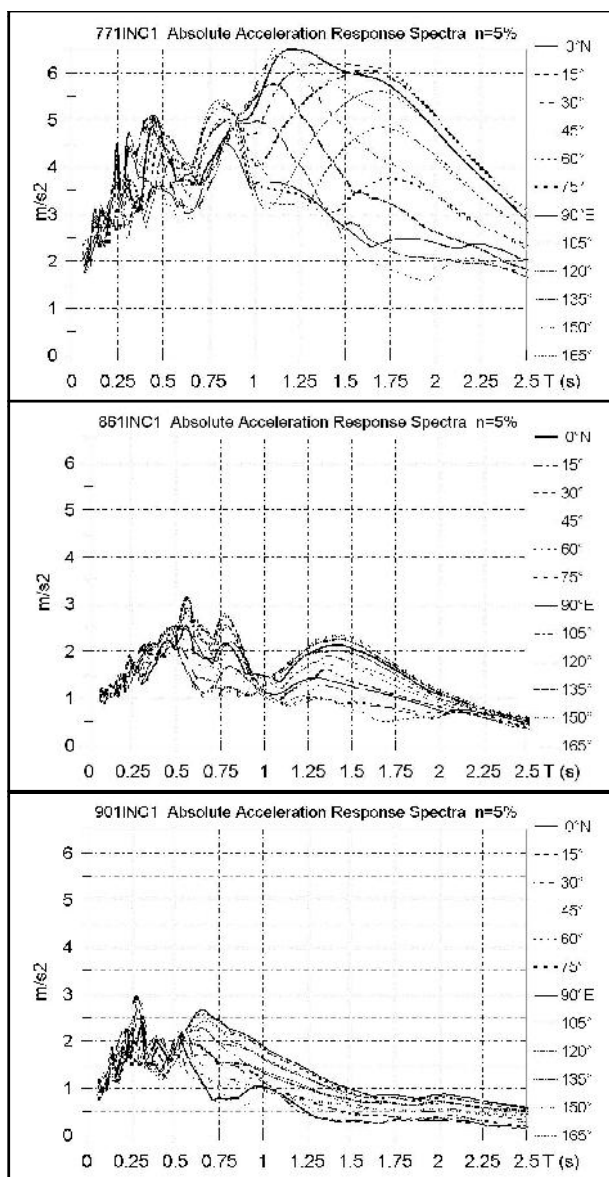


Fig. 4. Spectres d'accélérations absolues (pour 12 directions horizontales d'azimuts équidistants) pour de forts séismes, correspondant aux accélérogrammes enregistrés à Bucarest-INCERC

périodes fondamentales de plus de 1 s), ont été détruits à Bucarest. Compte tenu de ce fait, il est normal de prêter une attention primordiale à l'existence de l'amplification dans des intervalles spectraux de périodes relativement longues. En regardant les spectres de 1986.08.30, on remarque que la zone d'ordonnées maximum correspond à des périodes plus courtes, tandis qu'il existe un maximum local de périodes plus longues, près de 1.5 s. Pour les spectres de 1990.05.30, aucune zone d'amplification spectrale pour les périodes relativement longues n'est plus observable. Pourquoi

ces différences ? Il nous semble que les conditions géologiques locales n'ont joué presque aucun rôle du point de vue de la composition spectrale du mouvement du terrain, ce qui paraît surprenant. L'analyse de l'ensemble des données disponibles peut expliquer ce fait.

Le tableau 2 contient les noms et les coordonnées géographiques de quelques stations pour lesquelles sont présentées, dans les figures 5 et 6 (respectivement pour les séismes de 1986.08.30 et 1990.05.30), des spectres d'accélération absolue pour 12 directions horizontales équidistantes par rapport à l'azimut. On remarque le fait que la zone d'amplification locale pour des périodes relativement longues, de l'ordre de 1.5 s, apparaît pour toutes les stations dans la figure 5, mais elle est absente pour toutes les stations dans la figure 6. L'histoire du cas de Bucarest-INCERC, de la figure 4, se répète identiquement pour les séismes de 1986.08.30 et de 1990.05.30.

En examinant l'ensemble des stations situées à l'intérieur de Bucarest et même jusqu'à une centaine de kilomètres vers le nord, on fait un constat similaire (Sandi *et al.*, 2010), (Sandi *et al.*, 2011.b). Par conséquent, on peut affirmer que, pour l'ensemble des stations mentionnées, le mécanisme de source a joué un rôle déterminant pour la composition spectrale du mouvement du terrain. De plus, il serait pertinent d'affirmer que, pour le séisme de 1940.11.10, qui a produit à Bucarest la destruction d'un seul bâtiment, le bâtiment de 13 étages « Carlton », le contenu spectral du mouvement du terrain dans la zone de Bucarest a été assez similaire à celui caractérisé par les résultats instrumentaux de 1977.03.04, présentés (figure 4). Si l'on accepte cette conclusion, il en résulte que, pour les deux cas des séismes destructifs de 1940.11.10 et 1977.03.04, l'action sismique a été bien plus sévère pour les structures flexibles (c'est-à-dire les bâtiments hauts, qui existaient seulement dans la zone centrale de Bucarest) que pour les structures rigides (c'est-à-dire les bâtiments bas, les seuls qui existaient hors de Bucarest). *La simple utilisation de l'instrument rudimentaire représenté par l'intensité sismique traditionnelle avait abouti à la conclusion naïve que l'intensité sismique avait été plus sévère à Bucarest que dans le voisinage de la ville.* La conséquence la plus significative en

fut la carte de zonage de la figure 2.a, corrigée seulement en 1991, à base des données instrumentales mentionnées.

La principale conclusion qui en résulte est qu'il est impérieusement nécessaire de spécifier le domaine spectral pour lequel les données macrosismiques sont significatives et, par

conséquent, de considérer (et même de définir) l'intensité sismique par rapport à un certain intervalle spectral. Une telle approche conduit ensuite à la nécessité de prêter attention à l'information instrumentale et aux techniques actuelles d'interprétation.

Tableau 2.

Stations accélérographiques ayant fourni des données pour lesquelles on présente des spectres d'accélération absolue

	PRS – Periș (N de Buc.) 44.676 N, 26.019 E	
BLV – Bolintin Vale (O de Buc.) 44.444 N, 25.757 E	CRL – Carlton (centre Buc.) 44.436 N, 26.102 E	BRN – Brănești (E de Buc.) 44.460 N, 26.329 E
	MAG – Măgurele (S de Buc.) 44.347 N, 26.030 E	

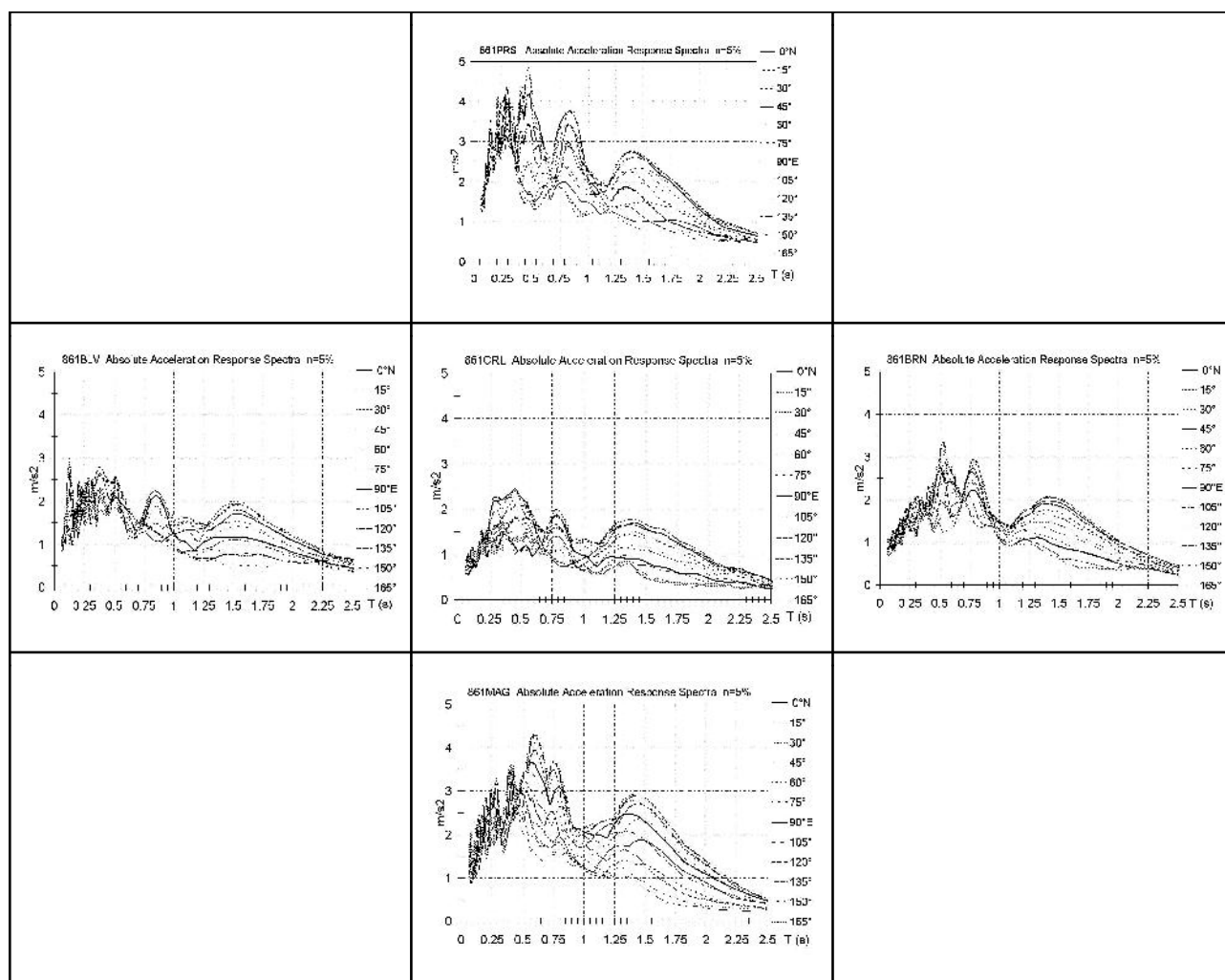


Fig. 5. Spectres d'accélération absolue pour 12 directions d'azimuts équidistants pour les stations mentionnées dans le tableau 2, pour le séisme de 1986.08.30

3. UNE APPROCHE PROPOSÉE: DÉFINITION DE L'INTENSITÉ SISMIQUE EN PARTANT DES DONNÉES INSTRUMENTALES

3.1. Présentation du système proposé

Une possibilité, proposée par les auteurs, de remédier la situation non satisfaisante présentée auparavant, est représentée par une renonciation totale à une définition de l'intensité sismique en partant des effets observés visuellement pendant les enquêtes post-séisme, en faveur d'une définition basée sur des caractéristiques spécifiques à un examen analytique du mouvement sismique. Cette voie, présentée brièvement ci-dessous, représente l'adoption d'une stratégie totalement différente d'aborder le problème. Les résultats obtenus par son application ne sont pas incompatibles avec les résultats fournis par l'approche traditionnelle, basée sur les enquêtes post-séisme. En revanche, on a essayé d'éviter la parution de différences

considérables par rapport aux résultats fournis par les enquêtes post-séisme, à condition que ces derniers résultats représentent la conséquence d'une interprétation satisfaisante de l'information primaire. D'autre part, l'approche proposée introduit une généralisation d'importance fondamentale, en rapportant explicitement l'intensité à un certain intervalle spectral (éventuellement aussi à une certaine direction du mouvement sismique également). La solution proposée est en principe celle de (Sandi *et al.*, 1998). On a analysé le possible apport de quelques modifications à cette solution, ayant comme but une possible amélioration de la corrélation avec les résultats des enquêtes macrosismiques, suite aux résultats de l'analyse statistique de (Aptikaev, 2005).

La solution proposée consiste en un système qui permet de déterminer, selon l'intérêt de l'analyste:

- des intensités globales,
- des intensités correspondant à certaines fréquences, ou

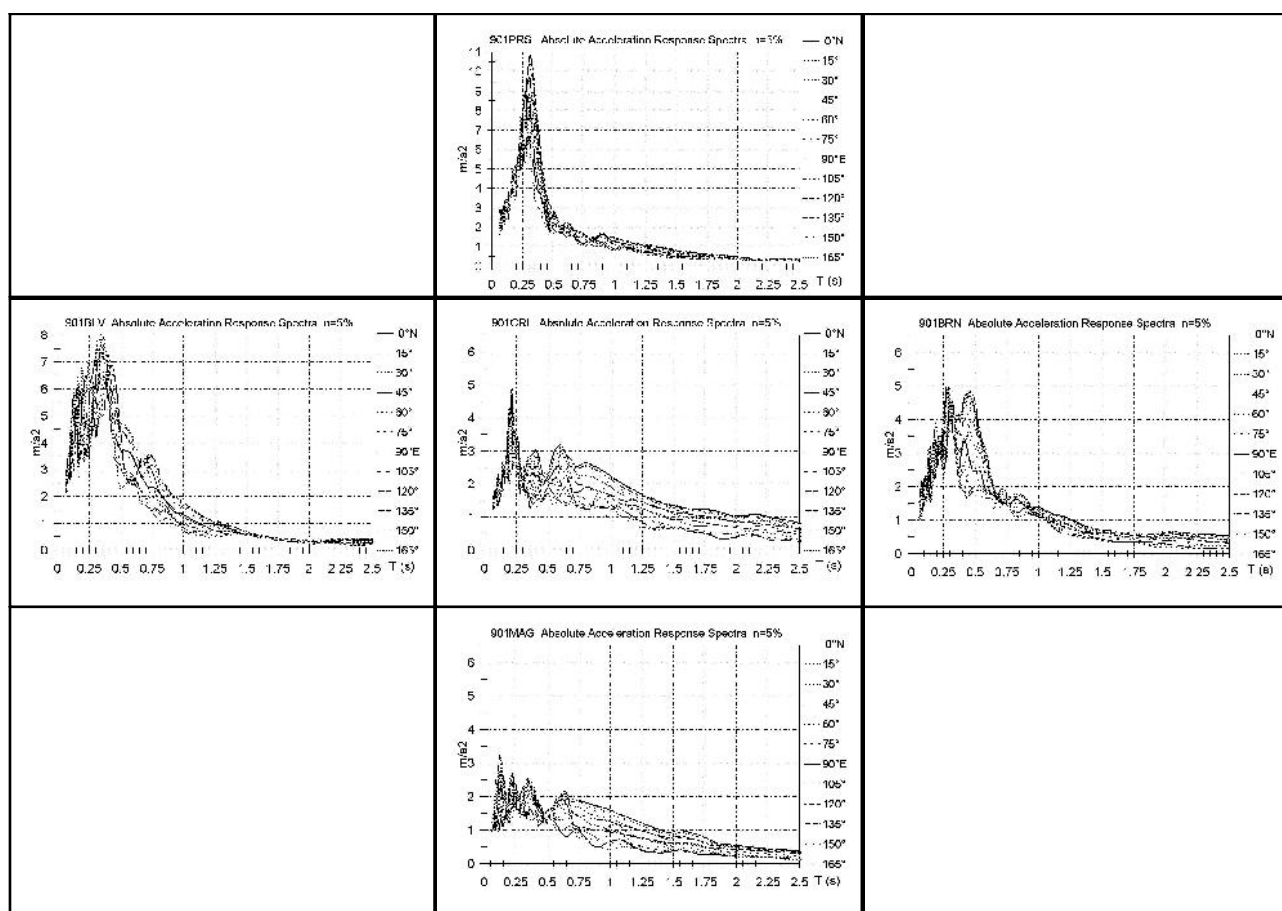


Fig. 6. Spectres d'accélération absolue pour 12 directions d'azimuts équidistants pour les stations mentionnées dans le tableau 2, pour le séisme de 1990.05.30

– des intensités correspondant à certains intervalles spectraux explicites (obtenues conformément à la règle spécifique de faire la moyenne).

D'autre part, le système offre la possibilité d'option entre trois sources alternatives de quantification:

- des spectres (linéaires) de réponse,
- des intégrales de type Arias (Arias, 1970) de l'accélération, soit du terrain, soit d'un pendule ayant une certaine fréquence propre, ou
- des intégrales similaires des images Fourier des accélérations mentionnées ci-dessus.

La présentation détaillée du système implique de nombreuses relations analytiques qui ne peuvent pas être reproduites ici, faute d'espace disponible, mais peuvent être vues dans (Sandi *et al.*, 1998) ou bien dans (Sandi *et al.*, 2011.a). Compte tenu de cette disponibilité, il est plus intéressant de présenter des exemples de résultats de l'analyse de quelques accélérogrammes représentatives. Un aperçu de synthèse en est offert par le tableau 3.

3.1. Exemples illustratifs d'utilisation du système

Afin de présenter les possibilités d'analyse offertes par le système, ainsi que la nature des

Tableau 3.

Système de critères instrumentaux pour quantifier l'intensité sismique

Dénomination	Symboles utilisés pour les intensités:			Sources des définitions / commentaires
	* globale			
	** rapportée à une fréquence			
	*** médianée sur un intervalle de fréquences			
	*	**	***	
Intensités basées sur les spectres de réponse	I_S	$i_s(\varphi)$	$i_s^{\sim}(\varphi', \varphi'')$	Spectres linéaires de réponse pour les accélérations et vitesses absolues / utilisation d'EPA, EPV, redéfinies respectivement comme EPAS, EPVS; règles de faire la moyenne spécifiées.
Intensités basées sur des intégrales de type Arias (Arias, 1970)	I_A	$i_d(\varphi)$	$i_d^{\sim}(\varphi', \varphi'')$	Intégrales quadratiques pour l'accélération du terrain (pour I_A), ou d'un pendule de fréquence propre φ (pour $i_d(\varphi)$) / extensible à une définition tensorielle; on donne des règles de faire la moyenne pour intervalles spectraux et directions.
Intensités basées sur des intégrales quadratiques des images Fourier	I_F ($\equiv I_A$)	$i_f(\varphi)$	$i_f^{\sim}(\varphi', \varphi'')$	Intégrales quadratiques pour l'image Fourier de l'accélération (pour I_F), ou fonctions quadratiques des images Fourier (pour $i_f(\varphi)$) / extensible à une définition tensorielle; on donne des règles similaires de faire la moyenne.

Tableau 4.

Critères instrumentaux selon l'échelle MSK-76 (valeurs moyennes)

Intensité	PGA, cm/s ²	PGV, cm/s	PSD, mm
VI	50	4	2
VII	100	8	4
VIII	200	16	8
IX	400	32	16

Note: PGA et PGV sont des notations usuelles des valeurs de pointe de l'accélération et de la vitesse du terrain, tandis que PSD représente la valeur de pointe du déplacement du sismoscope de Medvedev, ayant une période propre de 0,25 s et un décrétement logarithmique de 0,5.

résultats obtenus, on a choisi quelques mouvements sismiques forts, représentatifs, pour lesquels les résultats sont présentés dans les tableaux 5 et 6.

Les cas analysés sont:

– dans le tableau 5, quelques mouvements qui diffèrent considérablement du point de vue de la composition spectrale, notamment:

- o le mouvement sismique enregistré à El Centro (Californie) en 1940.05.18, que l'on a souvent considéré comme un cas de référence, dû à plusieurs motifs: mouvement fort et représentatif pour un grand nombre de situations et de cas;
- o le mouvement sismique enregistré à Ciudad de México / Segretería Comunicaciones y Transportes en 1985.09.19, lequel se distingue par une forte sélectivité spectrale, ainsi que par la longue période dominante, due aux conditions locales spéciales (fort contraste des vitesses de propagation des ondes S à une faible profondeur), ainsi que par ses effets désastreux;
- o le mouvement sismique enregistré à Cernavoda (Roumanie) / Mairie en 1986.08.30, lequel se distingue aussi par une forte sélectivité spectrale, due aux conditions locales spéciales (qualitativement similaires à celles mentionnées ci-dessus),

– dans le tableau 6, la suite de mouvements enregistrés à Bucarest / INCERC en 1977.03.04, 1986.08.30 et 1990.05.30, dont les spectres d'accélération absolue avaient déjà été présentés dans la figure 4, qui présente des différences évidentes de la composition spectrale, dues au manque de sélectivité dynamique des conditions locales, ce qui a mené à un rôle déterminant des caractéristiques du mécanisme de source.

Quelques renseignements sur l'organisation de ces deux tableaux:

– pour chaque cas, la première ligne présente des figures organisées de la manière suivante:

- o la colonne 2 présente les accélérogrammes pour les deux directions horizontales orthogonales;

- o la colonne 3 présente les spectres d'accélération absolue correspondant aux accélérogrammes mentionnés (fraction 5% de l'amortissement critique, échelle logarithmique des périodes);

- o la colonne 4 présente les spectres d'intensité $i_s^{\sim}(\varphi', \varphi'')$ (rouge) et $i_d^{\sim}(\varphi', \varphi'')$ (bleu) mentionnés dans le tableau 3 (échelle logarithmique des périodes, intervalles de médiation (φ', φ'') de 6 dB) pour les deux mêmes directions (pas de médiation entre les deux directions);

– pour chaque cas, la seconde ligne présente de l'information organisée de la manière suivante:

- o la colonne 2 présente des données générales concernant les séismes: source, date du séisme, magnitude, localisation géographique;
- o la colonne 3 présente des données générales concernant les stations accélérographiques: dénomination, localisation géographique, code des données instrumentales;
- o la colonne 4 présente les intensités globales I_s et I_d et les intensités moyennes $I_{Sl} = i_s^{\sim}(\varphi', \varphi'')$ et $I_{Dl} = i_d^{\sim}(\varphi', \varphi'')$, sur l'intervalle de référence $(\varphi', \varphi'') = (0, 25 \text{ Hz}, 16,0 \text{ Hz})$; les valeurs suivant les symboles correspondent à une médiation pour les deux directions horizontales, tandis que les paires de valeurs entre parenthèses correspondent aux deux directions.

Quelques commentaires sur les résultats présentés:

– on remarque une forte convergence entre les résultats concernant les intensités globales I_s et I_d , les écarts représentant ordinairement moins d'une demi-unité;

– il existe des cas où la variation des spectres d'intensité d'une bande spectrale à l'autre est particulièrement forte; une moindre variation apparaît pour le mouvement «de référence» d'El Centro 1940.05.18, tandis que le cas de Ciudad de México est spectaculaire, par la

Tableau 5.

Spectres d'accélération et d'intensité pour quelques types caractéristiques d'accélérogrammes

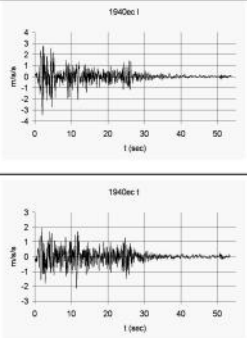
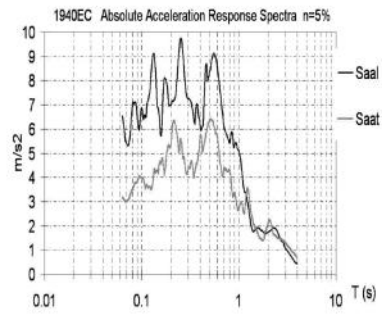
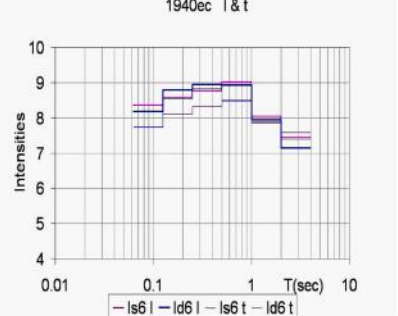
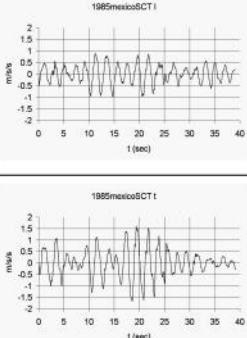
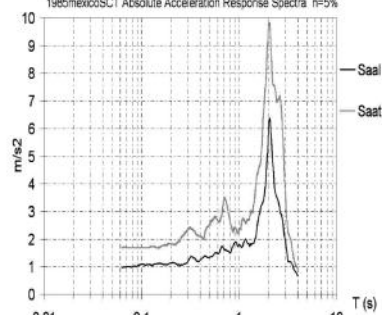
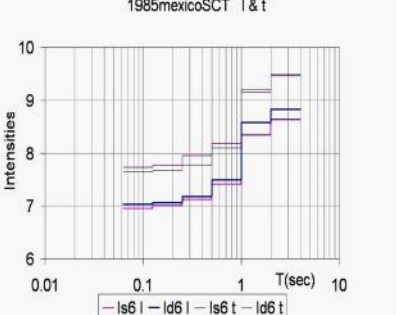
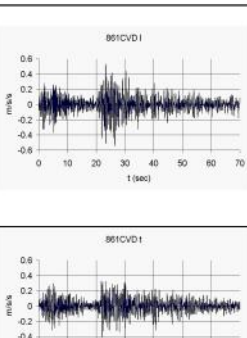
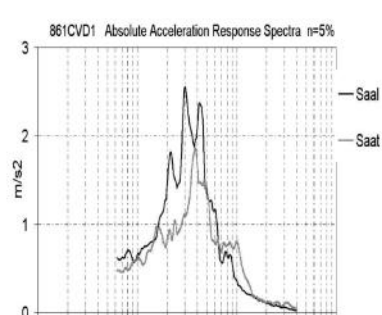
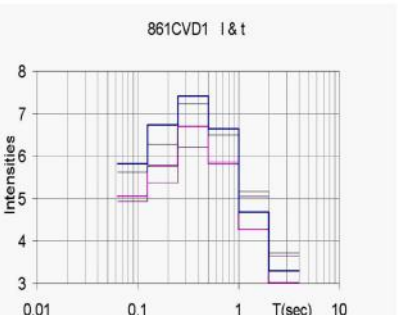
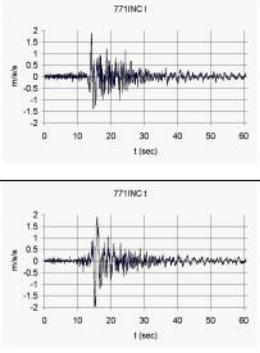
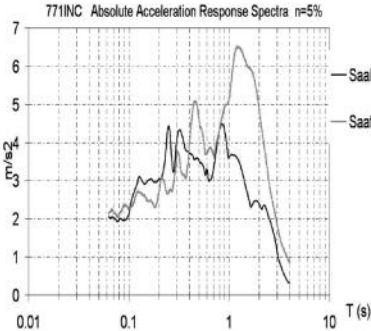
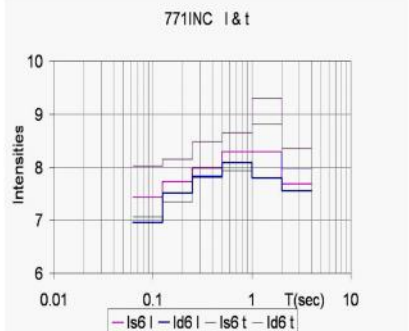
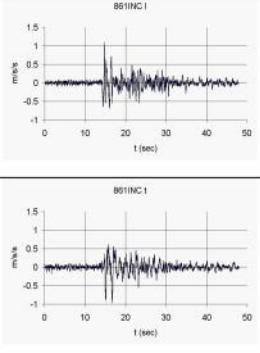
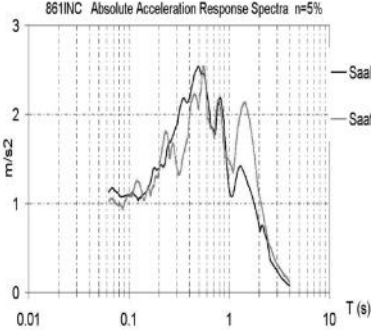
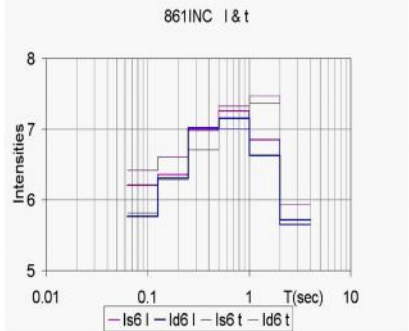
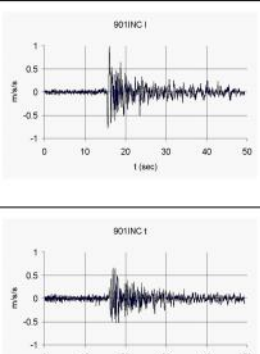
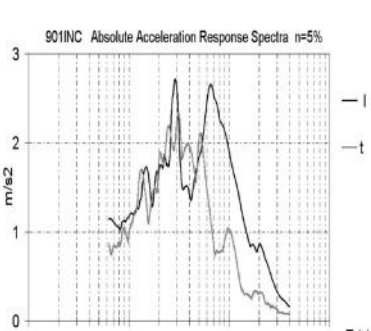
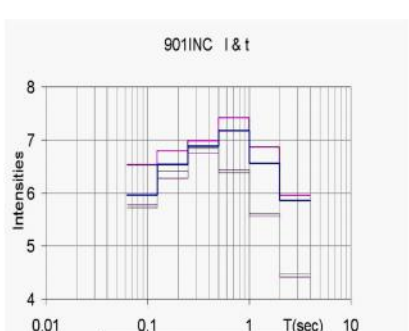
No.	Caractéristiques du mouvement du terrain pour deux directions horizontales orthogonales		
	Accélérogrammes	Spectres d'accélération absolue	Spectres d'intensité $i_s(\varphi', \varphi'')$ (rouge) et $i_s(\varphi', \varphi'')$ (bleu) pour intervalles de 6 dB
1			
	Source: USA, Ca, Imperial Valley 1940.05.18, M_s : 7.0, φ : 32.73, λ : -115.45	Station: El Centro, φ : 39.72, λ : -115.55, Code: 1940ELC	I_s : 8.01 (8.18, 7.80), I_{s1} : 8.34 (8.52, 8.09) I_A : 8.43 (8.55, 8.30), I_{D1} : 8.44 (8.56, 8.31)
2			
	Source: North American / Cocos Plates (Mexico), 1985.09.19, M_s : 8.1, φ : 18.08, λ : -102.94	Station: Ciudad de Mexico, SCT, φ : 19.43, λ : -99.13 Code: 1985SCT	I_s : 8.92 (8.55, 9.16), I_{s1} : 8.42 (7.90, 8.72) I_A : 8.40 (8.03, 8.64), I_{D1} : 8.47 (8.09, 8.72)
3			
	Source: Roumanie, VSZ 1986.08.30, M_{G-R} : 7.0, φ : 45.53, λ : 26.47	Station: Cernavodă / Mairie, φ : 45.23, λ : 28.03, Code: 861CVD1	I_s : 5.87 (6.05, 5.64), I_{s1} : 5.67 (5.79, 5.53) I_A : 6.46 (6.56, 6.35), I_{D1} : 6.48 (6.57, 6.37)

Tableau 6.

*Spectres d'accélération et d'intensité pour une suite d'accélérogrammes de Roumanie
(station Bucarest / INCERC)*

No.	Caractéristiques du mouvement du terrain pour deux directions horizontales orthogonales		
	Accélérogrammes	Spectres d'accélération absolue	Spectres d'intensité $i_s \sim (\varphi', \varphi'')$ (rouge) et $i_s \sim (\varphi', \varphi'')$ (bleu) pour intervalles de 6 dB
1			
	Source: Roumanie, VSZ, 1977.03.04, M_{G-R} : 7.2, φ : 45.34, λ : 26.30	Station: Bucarest / INCERC φ : 44.44, λ : 26.16 Code: 771INC	I_S : 8.01 (8.18, 7.80), I_{S1} : 8.34 (8.52, 8.09) I_A : 8.43 (8.55, 8.30), I_{D1} : 8.44 (8.56, 8.31)
2			
	Source: Roumanie, VSZ, 1986.08.30, M_{G-R} : 7.0, φ : 45.53, λ : 26.47	Station: Bucarest / INCERC φ : 44.44, λ : 26.16 Code: 861INC	I_S : 6.68 (6.48, 6.84), I_{S1} : 6.86 (6.73, 6.96) I_A : 6.65 (6.61, 6.68), I_{D1} : 6.68 (6.63, 6.72)
3			
	Source: Roumanie, VSZ, 1990.05.30, M_{G-R} : 6.7, φ : 45.82, λ : 26.90	Station: Bucarest / INCERC φ : 44.44, λ : 26.16 Code: 901INC	I_S : 6.33 (6.55, 6.02), I_{S1} : 6.61 (6.88, 6.16) I_A : 6.45 (6.62, 6.22), I_{D1} : 6.46 (6.64, 6.21)

différence d'intensité d'environ deux unités entre le domaine des périodes courtes et celui des périodes longues;

- les tendances générales de variation des spectres d'accélération et des spectres d'intensité sont similaires;

- on pourrait sans doute opter pour un plus haut degré de finesse pour les spectres d'intensité par un choix de bandes spectrales plus minces que celle de 6 dB, adoptées dans les applications présentées, mais il est douteux qu'une telle solution serait intéressante, compte tenu des fonctions de l'intensité sismique.

4. CONSIDÉRATIONS FINALES

1. L'étude de cas présentée dans la seconde section offre une raison suffisante pour redéfinir le concept d'intensité sismique d'une manière plus adéquate aux besoins techniques de l'ingénieur.

2. Le volume actuellement disponible d'information instrumentale ne peut plus être négligé lorsque l'on désire estimer l'intensité sismique. En revanche, la qualité et la quantité d'information que les données instrumentales mettent à notre disposition nous obligent de leur accorder, lorsqu'elles sont disponibles, la première place dans nos sources primaires de données.

3. Lorsque l'on entreprend des enquêtes post-séisme, il est nécessaire d'estimer non seulement l'ampleur des effets significatifs, mais également le domaine spectral pour lequel ces effets sont significatifs (Sandi, 1988).

4. Un domaine important qui ne peut pas bénéficier d'information instrumentale est celui des séismes dénommés « historiques ». Dans ce cas, l'information macrosismique est particulièrement importante pour les zones où les séismes forts sont rares et où l'on ne dispose pas d'information récente. Dans de telles situations, afin d'éviter des erreurs d'estimation, il est particulièrement important de prêter attention au domaine spectral de relevance de l'information primaire.

5. Dans la section 3 on a proposé une méthodologie pour redéfinir l'intensité sismique

d'une manière plus adéquate aux besoins de notre temps. Naturellement, on ne peut pas prétendre que cette voie est parfaite ou immuable. En revanche, elle pourrait constituer un point de départ pour un dialogue de spécialité, à organiser.

6. La voie normale d'avancer dans cette direction serait d'organiser un groupe de travail international sous l'égide de l'Association Européenne de Génie Parasismique et de la Commission Sismologique Européenne. Le premier des auteurs s'est adressé en ce sens à la veille de la 14^{ème} Conférence Européenne de Génie Parasismique aux secrétaires généraux des deux organisations mentionnées et leur réaction en a été favorable.

7. L'expérience du travail dans le domaine d'élaboration des normes techniques met en évidence les considérables difficultés rencontrées pour édifier une base de principes commune et un consensus en ce qui concerne une réponse aux défis spécifiques. En particulier, la complexité des défis spécifiques au problème de la définition de l'intensité sismique fera nécessaire un effort considérable de communication et de dialogue.

8. La prochaine assemblée générale de la Commission Sismologique Européenne, ESC33, prévue pour 2012, représente une occasion adéquate pour discuter ce problème évidemment important.

BIBLIOGRAPHIE

Aptikaev F., *Instrumental seismic intensity scale*, Proc. Symposium on the 40-th anniversary of IZHS, Skopje, 2005

Arias A., *A measure of earthquake intensity*, *Seismic design for nuclear power plants* (ed. R. J. Hansen), Cambridge, Mass.: The MIT Press 1970.

Grünthal G. (ed), *European Macroseismic Scale 1998*, Luxembourg: Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et Séismologie, vol. 15, 1998

Medvedev S. V., *Seismic intensity scale MSK-76*, Publ. Inst. Géophys. Pol. Ac. Sc., A-6. Varsovie, 1977

Radu C., Rădulescu D., Sandi H., *Some data and considerations on recent strong earthquakes of Romania*, Publ. AFPS, Cahier Technique No. 3, Paris, 1990

Sandi H., *Consideration of the spectral content of ground motion in re-evaluation of the seismic intensity*, Symp.

S5 of the XXI-st General Assembly, European Seismological Commission, Sofia, 1988

Sandi H., Borcia I. S., *A major reason to fundamentally revise the traditional concept of macroseismic intensity: to avoid possible zonation mistakes. An illustrative case*, Quantification of seismic action on structures (studies related to a project sponsored by NATO in the frame of the Program Science for Peace), (Program Director & Editor: H. Sandi). AGIR Publishing House, Bucarest, 2010

Sandi H., Borcia I. S., *Intensity spectra versus response spectra. Basic concepts and applications*, PAGEOPH Topical Volume on Advanced Seismic Hazard Assessments, PURE AND APPLIED GEOPHYSICS: Volume 168, Issue 1, Page 261, 2011

Sandi H., Borcia I. S., *A summary view of instrumental data on recent strong Vrancea earthquakes and*

implications for seismic hazard, PAGEOPH Topical Volume on Advanced Seismic Hazard Assessments, PURE AND APPLIED GEOPHYSICS: Volume 168, Issue 3, Page 659, 2011

Sandi H., Floricel I., *Some alternative instrumental measures of ground motion severity*, Proc. 11-th European Conf. on Earthquake Engineering, Paris, 1998

..... *Zonarea seismică a României* (Zonage sismique de Roumanie), STAS 11700/1-77, Bucarest, 1977

IRS (Institut Roumain de Standardisation), *Zonarea seismică a României* (Zonage sismique de Roumanie), SR 11700/1-93, Bucarest, 1993