

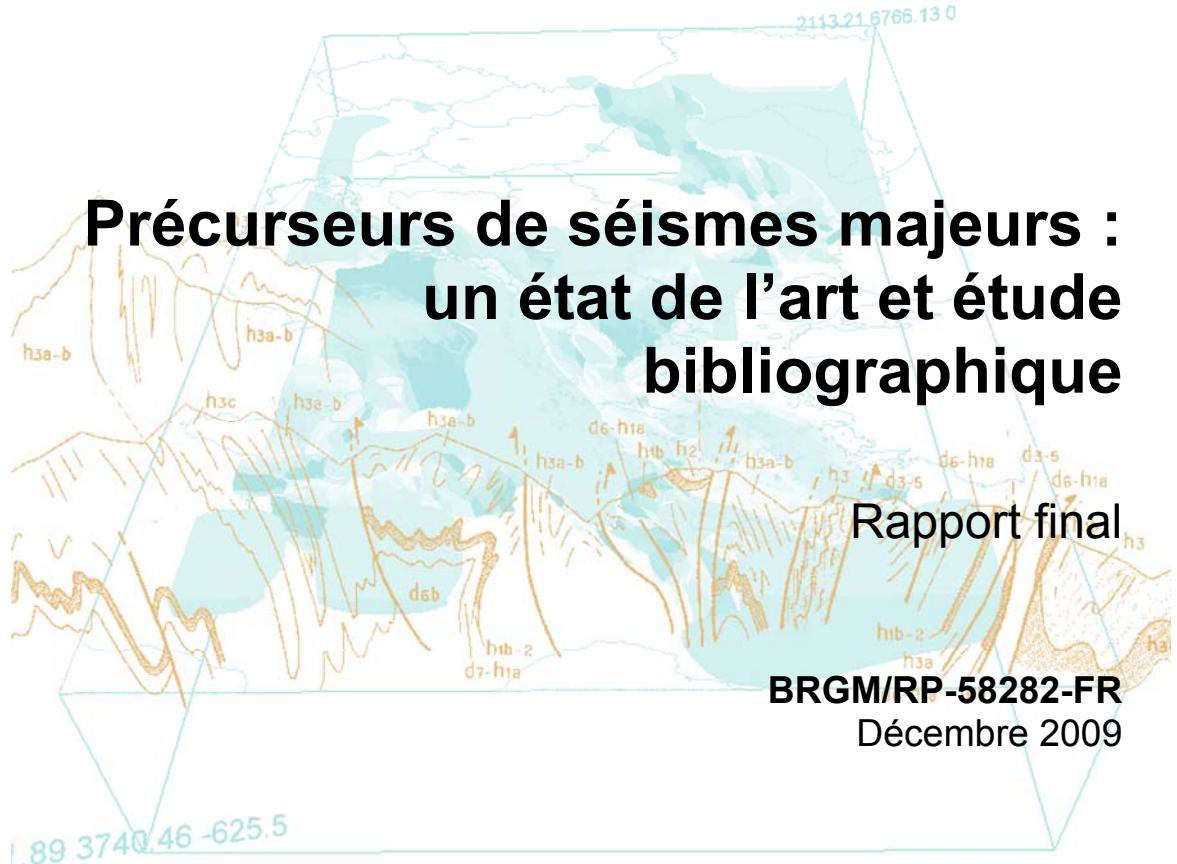


Document public

# Précurseurs de séismes majeurs : un état de l'art et étude bibliographique

Rapport final

BRGM/RP-58282-FR  
Décembre 2009



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Précurseurs de séismes majeurs : un état de l'art et étude bibliographique

Rapport final

**BRGM/RP-58282-FR**  
décembre 2009

Étude réalisée dans le cadre de l'action II.7 de la convention n° 0005731 de Service public du BRGM 2009

**Philippe Jousset, Chan Quang Vong, Anne Lemoine, Frédéric Gal**  
Avec la collaboration de  
**Lihua Yin, Aurélien Leynet, Marcello De Michelle, Yann Krien,  
Jérôme Lambert, John Douglas.**

**Vérificateur :**

Nom : P. Dominique

Date : 30/04/2010

Signature :

**Approbateur :**

Nom : T. WINTER

Date : 3/05/2010

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,  
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008



**Mots clés** : Précurseurs de séisme, Liste bibliographique

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Jousset P., Vong C.Q., Lemoine A. et Gal F.** (2009) - Précurseurs de séismes majeurs : un état de l'art et étude bibliographique. Rapport final, BRGM/RP-58282-FR, 133 p, 36 fig., 2 tabl., 4 ann.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

La prévision des séismes constitue l'un des problèmes les plus difficiles en Sciences de la Terre. La raison provient de la nature même des séismes, comme relâchement soudain des contraintes accumulées dans la lithosphère, dont le déclenchement n'est pas bien compris et qui est très difficile à prévoir.

Les très nombreux travaux de recherches effectués sur la compréhension du phénomène sismique ont permis de définir les zones d'aléa sismique fort ainsi que de prédire l'occurrence de séisme à long terme (quelques dizaines d'années), mais n'ont pas encore réussi à décrire de manière précise les phénomènes en jeu et par conséquent la nature exacte des signes avant-coureurs qui pourraient être détectés.

La question fondamentale posée par le grand public est de savoir si un séisme peut être prédictible ou non. Un débat sur cette question anime les scientifiques et les sismologues ; certains pensent que la prévision des séismes ne pourra jamais être possible du fait de la complexité même des phénomènes générant les séismes, mais d'autres démontrent séisme après séisme que des signes précurseurs existent et soutiennent que leur analyse approfondie permettrait la prévision des séismes.

L'objectif de ce rapport est de faire un état de l'art et une synthèse de la connaissance sur les précurseurs de séismes majeurs à la lumière des travaux anciens et récents.

Pour rechercher des travaux significatifs portant sur les précurseurs de séismes, nous avons :

- ✓ effectué une recherche par mots clés sur la toile internet ;
- ✓ contacté des instituts de recherche dans le monde ;
- ✓ fait l'acquisition de livres dédiés à certaines méthodes.

La recherche a été large et la variété et le nombre de documents obtenus montrent clairement que ce domaine d'étude est extrêmement vaste, et porte sur des méthodes très diverses. Le choix des articles représentatifs a été déterminé en suivant une approche pragmatique. Nous avons choisi de concentrer notre recherche sur les pays en proie aux séismes majeurs (Chine, Russie, Portugal, Turquie, Grèce, Italie, Japon, États-Unis). Un séisme majeur est défini par une magnitude supérieure à 7, mais l'analyse des résultats montre que certaines méthodes ne sont pas sensibles aux grandes magnitudes mais le sont aux petites magnitudes (hydrogéochimie). Lors de la recherche sur les travaux écrits en chinois, en russe, et en italien, il s'est avéré que les travaux les plus significatifs étaient également publiés en anglais.

Parmi les documents trouvés et sélectionnés, nous avons distingué :

- ✓ des ouvrages dédiés ;
- ✓ des articles scientifiques de portée générale, des articles fondamentaux, des articles consacrés à des cas spécifiques de séismes ;

- ✓ des issues spéciales de grands journaux scientifiques ;
- ✓ des articles de journaux sur internet.

Parmi les méthodes décrites, nous distinguerons :

- ✓ les observations de déplacements du sol à différentes échelles de temps (géodésie, déformation du sol, sismicité, cycle sismique, émissions acoustiques) ;
- ✓ les observations thermométriques ;
- ✓ les observations hydrogéochimiques ;
- ✓ les observations d'émission de gaz ;
- ✓ les observations électriques et/ou magnétiques ;
- ✓ les observations variées dans l'atmosphère (dont l'ionosphère) ;
- ✓ les observations du comportement des animaux.

Si la liste des méthodes décrites dans ce rapport nous paraît exhaustive, les cas étudiés ne représentent que partiellement l'ensemble des travaux sur une méthode donnée. Pour chaque méthode, on s'est attaché à faire ressortir les travaux principaux, les mieux documentés, les autres travaux étant néanmoins listés pour mémoire et pourraient servir de base pour une recherche plus approfondie.

Il n'y a, à présent, plus de doutes que de nombreux séismes sont précédés de réels précurseurs, mais les processus physiques générant ces phénomènes sont encore très mal compris, principalement à cause du manque d'observations de bonne qualité. En plaçant la faille dans son contexte géologique, on pourrait interpréter les anomalies observées avant les séismes, comme résultantes de modifications physico-chimiques de l'encaissant dues à la préparation du glissement au niveau de la faille. Dans ce schéma élargi du système « faille », l'utilisation de méthodes innovantes devrait contribuer à améliorer notre connaissance des phénomènes impliqués dans le cycle sismique et permettre de l'utiliser pour améliorer la précision des prévisions des séismes. On décrit très brièvement aussi des domaines de recherche nouveaux comme par exemple l'analyse de l'apparition de bulles ou l'étude de la propagation de fluides dans les systèmes de failles sous-marins à tous les stades du cycle sismique.

Quelques pistes sont proposées pour orienter de nouvelles recherches. En particulier, certaines recherches actuellement menées (dont les objectifs sont totalement étrangers à la recherche de précurseurs de séisme) pourraient obtenir des résultats permettant une contribution à la compréhension de certains aspects mal compris de la physique complexe des séismes.

## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Prévoir les séismes : un sujet vieux et vaste.....</b>	<b>15</b>
2.1. LES SÉISMES .....	15
2.2. LIEUX D'OCCURRENCE DES SÉISMES .....	18
2.3. MAGNITUDE D'UN SÉISME ET INTENSITÉS .....	19
2.4. PRÉDIRE OU PRÉVOIR LES SÉISMES?.....	21
<b>3. Les méthodes utilisées pour détecter des précurseurs de séismes majeurs ..</b>	<b>25</b>
3.1. MÉTHODE DE TRAVAIL .....	25
3.1.1. Recherche et validation des documents.....	25
3.1.2. Définition des précurseurs et sélection des documents .....	26
3.2. CLASSIFICATION DES MÉTHODES ET MÉCANISMES ASSOCIÉS .....	27
3.2.1. Analyse des mouvements du sol : géodésie, sismicité .....	28
3.2.2. Thermométrie .....	29
3.2.3. Hydrogéochimie et émission de gaz.....	29
3.2.4. Électromagnétisme au sol et satellitaire (ionosphère).....	31
3.2.5. Observations atmosphériques (effets lumineux, nuages...) .....	31
3.2.6. Comportement des animaux .....	32
3.3. ANALYSE DE LA SISMICITÉ ET DE LA DÉFORMATION: CYCLE SISMIQUE, PRÉCURSEURS, RÉPLIQUES.....	33
3.3.1. Principes des méthodes .....	33
3.3.2. Fiabilité de la méthode .....	41
3.4. THERMOMÉTRIE.....	42
3.4.1. Principe de la méthode .....	42
3.4.2. Exemples d'application .....	46
3.4.3. Fiabilité de la méthode .....	47
3.5. HYDROGÉOCHIMIE .....	48
3.5.1. Principe.....	48
3.5.2. Exemples d'application .....	48
3.5.3. Fiabilité .....	52

3.6. ÉMISSION DE GAZ .....	53
3.6.1. Principe de la méthode .....	53
3.6.2. Exemples d'application .....	53
3.6.3. Cas spécifique du radon .....	55
3.6.4. Fiabilité de la méthode .....	60
3.7. MÉTHODES ÉLECTROMAGNÉTIQUES AU SOL .....	62
3.7.1. Principe de la méthode .....	62
3.7.2. Exemples d'application .....	63
3.7.3. Fiabilité de la méthode .....	66
3.8. MÉTHODES ATMOSPHERIQUES ET IONOSPHERIQUES .....	67
3.8.1. Principe de la méthode .....	67
3.8.2. Exemples d'application .....	76
3.8.3. Fiabilité de la méthode .....	76
3.9. COMPORTEMENT DU VIVANT .....	76
3.9.1. Principe de la méthode .....	77
3.9.2. Exemples d'application .....	82
3.9.3. Fiabilité de la méthode .....	85
<b>4. Discussion .....</b>	<b>87</b>
4.1. LA QUÊTE DU « GRAAL SISMOLOGIQUE » .....	87
4.2. SIGNIFICATION DES PHÉNOMÈNES GÉOPHYSIQUES OBSERVÉS .....	87
4.2.1. Apport de notre étude .....	87
4.2.2. Apports et limites de l'approche sismologique exclusive .....	88
4.2.3. La faille replacée dans son contexte géologique : vers une approche intégrée .....	89
4.3. LIENS AVEC LA PRÉVENTION ET LA GESTION DE LA CRISE .....	91
4.4. POLITIQUES DE RECHERCHE SUR LES PRÉCURSEURS .....	91
4.5. QUELQUES APPROCHES ALTERNATIVES .....	92
<b>5. Conclusions et perspectives.....</b>	<b>94</b>
5.1. GÉNÉRALITÉS .....	94
5.2. STATISTIQUES SUR NOTRE ÉTUDE .....	94
5.3. ELEMENTS A RETENIR.....	95

5.4. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS .....	97
5.4.1. Définition d'une approche multiparamètre, sur un site pilote surveillé sur du long terme.....	97
5.4.2. Choix du site d'étude .....	98
5.4.3. Méthode d'observation et d'analyse .....	99
<b>6. Bibliographie étudiée .....</b>	<b>101</b>

## Liste des annexes

Annexe 1 - Liste USGS des séismes majeurs de $M_w > 7.0$ .....	125
Annexe 2 - Listes des organismes contactés listés par pays .....	129
Annexe 3 - La terre va-t-elle trembler en Haïti? .....	131
Annexe 4 - Premières pages des ouvrages .....	133

## Liste des tableaux et des figures

Tableau 1. Extrait des données compilées par Cicerone, 2009 .....	47
Tableau 2 – Description des méthodes électromagnétiques.....	63
Figure 1 – Effets dévastateurs du séisme M6.4 de Kobe, Japon, 1995 (Nature, Cyranoski, 2004) .....	16
Figure 2 – Bulletin officiel helvétique (1799) .....	17
Figure 3 – Sismicité mondiale ( <a href="http://www.geologie.ens.fr/~vigny/tecto-f.html">http://www.geologie.ens.fr/~vigny/tecto-f.html</a> ). Les lieux des séismes coincident majoritairement avec les limites des plaques tectoniques.....	18
Figure 4 – Échelle d'intensité macroseismique EMS-98 .....	20
Figure 5 - Accumulation de la déformation pré-sismique observée sur une image représentant une moyenne de 20 interférogrammes déroulés (DeMichele et al., 2008). .....	37
Figure 6 - Déplacement absolu d'une station GPS dans la ville d'Arequipa au Sud du Pérou où s'est produit un violent séisme le 23 juin 2001 ( $M_w=8.4$ ). Il est possible de distinguer différentes phases du cycle sismique, parmi lesquelles une phase pré-sismique de quelques mois (Ruegg et al., 2001) .....	38
Figure 7 - Carte en temps réel générée sur l'ensemble de l'Italie toutes les 5 minutes à partir de la sismicité ( $M>2.4$ ) - (Murru et al., 2009). .....	40
Figure 8 - Images du séisme du Kamchatka (M7, 21/06/1996,) prises par le satellite NOAA, montrant les anomalies thermiques interprétées comme telles par Tronin et al. (2004). Gauche : 17/06/1996, 16:11:12 GMT ; droite : 22/06/1996,	

16:57:28 GMT ; flèches : anomalies thermiques ; croix : épicentre du 21/06/1996.....	43
Figure 9 - Distribution spatiale des anomalies de flux de chaleur latente de surface (surface latent heat flux) dans la région de Gujarat, le séisme ayant eu lieu le 26 janvier 2001. (Dey et Singh 2003).....	43
Figure 10 - Essai sur un échantillon de gabbro montrant la variation d'infrarouge thermique émis en fonction des contraintes. La contrainte horizontale est maintenue à 50MPa tandis que la contrainte verticale varie de 0 à 35.4 MPa (Saraf et al.,2009).....	44
Figure 11 - Schéma montrant deux théories couramment acceptées de génération d'anomalie d'infrarouge thermique précédant un séisme et détectable par des capteurs thermiques embarqués sur satellites. PHP : positive holes pairs - paires de sites de déficience en électron dans le modèle proposé par Saraf et al. (2009).....	45
Figure 12 - Théorie des p-holes (positive holes) et propagation de charges selon Freund et al. (2002, 2003, 2005, 2007) cité par Saraf et al. (2009).....	46
Figure 13 – Variations temporelles de la température de la source chaude n° 24 à Usami entre 1976 et 1981. Les flèches indiquent les séismes remarquables ayant eu lieu dans la région des sources (Mogi et al., 1989). .....	49
Figure 14 – Variations de la composition en $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{HCO}_3^{-}$ et $\text{SO}_4^{2-}$ et du débit de la source 2 du 1 <sup>er</sup> janvier 1987 au 30 avril 1996. Les lignes pointillées verticales indiquent l'occurrence de 3 séismes associés au plus grand paramètre de déformation à des distances inférieures à 250 km du site (Bella et al., 1998).....	50
Figure 15 – Série temporelle de la composition en ion chlore dans les eaux en bouteille Alet. Les valeurs sont en mmol/. La flèche verticale (jour 224) indique le moment du séisme de St Paul de Fenouillet, 18/02/1996 ( $M_L = 5,2$ ). La ligne continue en gras représente la valeur moyenne calculée sur la période pré- et post- sismique ; les lignes pointillées sont les régions des variations à $2\sigma$ (Toutain et al., 1997).....	51
Figure 16 – Série temporelle Quadrupole ICP-MS montrant des anomalies de la composition en Zn et Pb de la source d'Alet commençant 3 jours avant le séisme (Poitrasson et al., 1998). .....	52
Figure 17 – Suivi des observations d'analyse isométrique effectuée le 1 <sup>er</sup> et 2 mars 2005. Le pic d'hélium est mis en relation avec les séismes du 28/03/2005, $M \sim 8,7$ au large de Sumatra (Das et al., 2006). .....	54
Figure 18 – Spectre continu du radon enregistré d'octobre 2000 à février 2001. Les chiffres romains le long de l'axe des abscisses indiquent les séismes précurseurs $M > 4$ . Les lignes pointillées indiquent le début des séismes qui correspondent aux numéros du précurseur radon (nombres au dessus des courbes) (Chyi et al., 2002).....	56
Figure 19 – Signaux précurseurs observés (jours 170 à 230 de l'année 2007) dans le forage pendant le processus de préparation du séisme de Kharsal ( $M=4,9$ ). (a) radon à 10 m de profondeur ; (b) concentration de radon à 50 m (c) niveau piezométrique (d) température de l'eau T3 (e) température de l'eau T2 (f) température de l'eau T1 ; (g) Pluviométrie. Encadrée : détails des changements observés sur des courtes durée à 10 m de profondeur. (Choubey et al., 2009). .....	58

Figure 20 – Anomalie en hélium dans le sol à Palampur comme précurseur du séisme de Chamoli.....	59
Figure 21 – Série temporelle du flux de CO <sub>2</sub> avec une moyenne glissante sur 48 h et pression barométrique à la station géochimique avec la sismicité enregistrée début 2004, île El Hierro. Les flèches indiquent l'occurrence des séismes (Padron et al., 2008). .....	61
Figure 22 – Anomalies du potentiel géo-électrique avant l'essaim sismique dans la région de l'île Izu au Japon (Uyeda et al., 2009). .....	64
Figure 23 - Distribution typique des couches diurnes de l'ionosphère. Évolution de la densité N d'électrons en fonction de l'altitude. Les zones les plus sombres représentent les densités d'électrons les plus élevées (Richards, 2008).....	68
Figure 24 - Distribution typique des couches nocturnes de l'ionosphère. Évolution de la densité N d'électrons en fonction de l'altitude. Les zones les plus sombres représentent les densités d'électrons les plus élevées (Richards, 2008).....	69
Figure 25 - Réfractions progressives (modèle discret de couches de densités croissantes d'électrons et d'indices de réfraction décroissants) d'une onde jusqu'à transmission horizontale. On suppose que le rayon va ensuite entamer un retour vers la surface après transmission horizontale (Richards, 2008).....	70
Figure 26 - Chemins possibles pour une onde électromagnétique dans l'ionosphère. De gauche à droite : rayons insuffisamment réfractés par les électrons et s'échappant de l'ionosphère ; rayons suffisamment réfractés pour être transmis horizontalement puis atteindre le sol. (Richards, 2008).....	70
Figure 27 - Types d'éclairs lumineux précédant un séisme. Ikeya, 2004 citant Yasui, 1971.....	73
Figure 28 - Formes de nuages pré-sismiques. (a) : nuages blancs étirés sur fond de ciel bleu ; (b) nuages concentriques similaires à des rides ondulaires ; (c) : nuages radiaux ; (d) : cirrus ; (e) : nuages horizontaux produits par (b) ; (f) : autre représentation de (c). Ikeya, 2004 .....	74
Figure 29 - Nuage en forme de tornade, photographié huit jours avant le séisme de Kobe en 1995. Un autre nuage similaire a été observé la veille (Ikeya, 2004).....	74
Figure 30 - Des vers de terre émergeant en masse à la surface ont été aperçus à Taiwan avant le séisme (M7.7) du 21/09/1999. La photo ci-dessus représente des vers de terre aperçus le 25/10/1999, quelques jours avant une forte secousse secondaire (M6.9, 02/11/1999) (Ikeya, 2004). Emmanuel Kant rapporte qu'un tel phénomène a été observé huit jours avant le tremblement de terre de Lisbonne (~M9, 1755) .....	78
Figure 31 - L'application d'un champ de 70 V/m conduit à l'alignement de loches perpendiculairement au champ (b) alors que leur déplacement était initialement aléatoire (a). (Ikeya, 1998) .....	80
Figure 32 - Stries obtenues par application d'un champ électrique dans une pousse de riz (Ikeya, 2004) .....	81
Figure 33 - Évolution modélisée de la fraction de la population porteuse d'un gène provoquant un réflexe de fuite pré-sismique (SER : seismic-escape response). Plusieurs situations initiales ont été modélisées avec les rapports (individus dépourvus de l'allèle provoquant le réflexe/individus possédant deux allèles provoquant la fuite en cas de séisme) suivants : 10/9990 ; 100/9900 ; 1000/9000 ; 2500/7500 ; 5000/5000 ; 9900/100 (Kirshvink, 2000).....	82

Figure 34 - Représentations chinoises de comportements animaliers erratiques pouvant annoncer un séisme.....	83
Figure 35 - Activité reproductive des crapauds et perturbations ionosphériques avant et après le séisme de l'Aquila. De haut en bas : nombre de crapauds actifs sur le site de reproduction ; perturbations ionosphériques étudiées via l'étude de la propagation d'ondes de très basse fréquence sur le chemin ITS-MOS (Sicile-Moscou) et NRK-MOS (Islande-Moscou, chemin témoin ne passant pas par l'épicentre) (Grant et Halliday, 2010).....	84
Figure 36 – Nombre de publications par année.....	94

## 1. Introduction

La prévision des séismes majeurs est un objectif des politiques publiques depuis longtemps. Pour les gestionnaires des crises, l'intérêt évident de disposer d'une alerte avant la survenue d'évènements destructeurs serait de permettre d'avertir les habitants des zones concernées par le risque sismique de l'imminence d'un séisme et de s'y préparer.

Cependant, malgré les moyens mis en œuvre en recherche fondamentale pour essayer de comprendre les mécanismes des sources sismologiques des séismes destructeurs et pour détecter d'éventuels signaux précurseurs, il n'existe aucune méthode d'observation ou de modélisation opérationnelle en France permettant d'espérer atteindre cet objectif. Récemment, de nouvelles études ont révélé des observations permettant d'espérer avancer un peu plus vers cet objectif.

Dans le cadre de la convention n° 0005731 de Service Public, le Ministère de l'Énergie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer a confié au BRGM un travail bibliographique sur les précurseurs de séismes majeurs. L'objectif de cette étude est de faire une synthèse de la connaissance et de l'état de l'art en matière d'évaluation des précurseurs de séisme majeur. Elle s'est fondée sur une étude bibliographique et une analyse critique des études déjà réalisées sur ce thème en intégrant les résultats de programmes de recherche internationaux (européens, asiatiques, américains...).

L'étude se propose d'effectuer une revue de la connaissance en matière d'observation et une analyse critique des approches et méthodes existantes pour la détection et l'interprétation d'anomalies de grandeurs physiques (mécanique, électrique...) et de modification de comportements du vivant, avant l'occurrence de séismes majeurs.

Des pistes d'actions prospectives complémentaires sont proposées.



## 2. Prévoir les séismes : un sujet vieux et vaste

### 2.1. LES SÉISMES

Un séisme est une rupture plus ou moins soudaine de la lithosphère libérant une quantité d'énergie principalement sous forme d'ondes sismiques se propageant dans toutes les directions dans la Terre. La théorie fondamentale est basée sur la théorie de Reid (1910) et plus tard élaborée comme un processus de friction (Brace and Byerlee, 1966), avec des développements récents utilisant des lois du type de celle de Ruina-Dieterich (Dieterich, 1978 ; 1979a ; 1979b ; Kanamori, 1996 ; Aochi, 2009). La quantification de l'énergie libérée se fait au moyen de la magnitude.

Lorsque l'hypocentre du séisme est proche de la surface de la Terre et de zones habitées, les ondes sismiques arrivant à la surface de la Terre (« tremblement de terre ») peuvent provoquer des dégâts importants sur le bâti humain jusqu'à l'effondrement et par conséquent causer des décès. Les pertes en vies humaines peuvent alors être gigantesques<sup>1</sup>. D'après une étude commandée par l'Organisation des Nations Unies (ONU) du Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED) de l'Université catholique de Louvain (Belgique) présentée en janvier 2010, les tremblements de terre sont à l'origine des désastres les plus meurtriers de la décennie 2000-2010, ayant causé près de 60 % des 780 000 morts dans des catastrophes naturelles entre 2000 et 2009. Le séisme le plus meurtrier se produisit au seizième siècle en Chine, faisant environ 800 000 morts. On a dénombré 226 408 morts, suite au tsunami généré lors du séisme de Sumatra (M9.2) le 26 décembre 2004. Le séisme qui a frappé le Sichuan (Chine) en 2008 a tué 87 476 personnes tandis que celui du Pakistan en 2005 a fait 73 338 morts, 30 000 morts lors du séisme de Bam en Iran (M6.7) en 2003 ; 15 000 morts lors du séisme d'Izmit en Turquie (M7.4) en 1999 ; 6 300 morts lors du séisme de Kobe au Japon (M7.2) en 1995. Selon la Banque Interaméricaine de Développement, les dégâts provoqués par le séisme d'Haïti sont évalués à 10 milliards d'euros.

Les catastrophes passées et récentes révèlent l'incapacité de la Science à prédire les séismes jusqu'à présent. Or, les autorités et les populations habitant dans les zones sismiques demandent aux scientifiques de leur donner suffisamment de temps à l'avance **le lieu, la date et la magnitude d'un séisme**. La connaissance de ces éléments leur permettrait en effet de réduire considérablement le nombre des victimes pour les séismes à venir, en accompagnement de mesures préventives de réduction de la vulnérabilité, comme la consolidation des maisons et le respect des normes parasismiques (Jones *et al.*, 1996).

---

<sup>1</sup> Lors de la rédaction du rapport, un séisme de magnitude M~7 sur l'échelle de Richter s'est produit à Port-au-Prince (Haïti) impliquant un nombre de morts proche de 300 000.



Figure 1 – Effets dévastateurs du séisme M6.4 de Kobe, Japon, 1995 (*Nature*, Cyranoski, 2004)

Sur l'ensemble des séismes de magnitude supérieure à 7 répertoriés dans le monde (d'après la liste USGS, voir annexe 1), tous ne sont heureusement pas associés à des catastrophes. L'importance accordée à la prévision des séismes peut se mesurer par les effets directs et indirects des séismes. Lorsqu'un séisme se produit, les destructions des villes entraînent des chutes de murs et d'éléments non structuraux (cheminées, balcons, étagères...) sur les habitants. La notion d'échec ou de réussite de la prévision peut se regarder face à l'enjeu : s'il est fondamental de prévoir un séisme destructeur de faible magnitude là où il y a des enjeux, il n'est pas forcément important de prévoir un séisme de magnitude plus importante, où les enjeux sont plus faibles, à l'exception notable des séismes tsunami-géniques.

Contrairement à d'autres types de phénomènes comme les éruptions volcaniques pour lesquels des précurseurs sont clairement établis, chaque séisme se produit de façon soudaine et sans précurseur apparent (Hoang-Trong & Yin, 1995, Figure 2). Malgré les nombreuses observations et recherches globales conduites sur l'investigation des processus de nucléation des séismes, il semble très difficile de « prédir » (déterminer à l'avance le lieu, la date et la magnitude d'un séisme). Est-il possible de « prévoir » les séismes, c'est-à-dire donner une probabilité qu'un séisme d'une magnitude choisie puisse se produire dans une région donnée et avec quelle échéance ?

N°. 30.

LIBERTÉ. Mardi 5 Février 1799. ÉGALITÉ

**BULLETIN OFFICIEL  
DU  
DIRECTOIRE HELVÉTIQUE**

*& des autorités du Canton du Léman.*

page 237

*Nantes, 25 janvier.* Ce matin, environ 4 heures, on a éprouvé dans cette ville un violent tremblement de terre. La secousse a duré à peu près quatre heures. Des cheminées ont été abattues. Les parquets, boiseries & glaces des appartemens ont souffert. Cette première secousse a été suivie de trois autres, mais moins sensibles. Cet événement a été annoncé par un météore ignée qui a jetté le plus vif éclat. L'air était calme, le ciel couvert, l'horizon rougeâtre, la nuit d'une grande chaleur. La secousse a été très-forte sur la Loire. Les bateliers se sont crus perdus par la grande agitation de l'eau, sans le moindre vent. Des familles entières se sont levées & ont abandonné leurs maisons. Plusieurs personnes ont été jetées hors de leur lit. Les chiens jappaient avec force. Les chevaux hennissaient, &, dans les campagnes, les bestiaux poussaient d'affreux mugissements. J'ai remarqué, écrit la personne qui donne la nouvelle de cet événement, qu'un chien qui couchait dans ma chambre, n'a voulu ni boire, ni manger, ni rester sur son matelas. Il n'a fait qu'aller & venir toute la nuit; & ce matin, un peu avant quatre heures, il s'est mis à hurler. Aussitôt j'ai été vivement baloté dans mon lit, & j'ai ressenti ce qu'on éprouve dans une maison au passage d'une voiture très-chargée. Ma pendule a sonné quatre heures, avant que l'aiguille fut arrivée sur le point.

Des rapports postérieurs à cette lettre annoncent que ce tremblement s'est fait ressentir presqu'en même temps à Nantes, à Laval, à Angers, au Mans & à Rouen, c'est-à-dire, dans un espace d'environ 80 lieues. On a senti cinq secousses à la Flèche. A St. Maxent, la commotion a été annoncée par un bruit semblable à la chute d'un gros chêne. Elle a duré trois minutes à Angers. Le temps était en général pluvieux. C'était, le cinquième jour du dégel.

Figure 2 – Bulletin officiel helvétique (1799)

## 2.2. LIEUX D'OCCURRENCE DES SÉISMES

Dans les années 60, on a compris les raisons fondamentales de l'existence des séismes. La lithosphère terrestre est découpée en « plaques tectoniques » se déplaçant les unes par rapport aux autres sous l'action de la convection mantellique. Ces mouvements se font par création de lithosphère dans les zones d'extension et par chevauchement des plaques dans les zones de subduction. La libération des contraintes accumulées progressivement se fait par un déplacement soudain le long d'une zone de rupture (les failles) : un séisme se produit. Les séismes de magnitude les plus fortes sont les plus destructeurs et se produisent généralement aux frontières de plaques (Figure 3) dans les zones de subduction, mais il peut arriver que des séismes intra plaques majeurs se produisent, le long de failles cassant une plaque (comme en Chine).

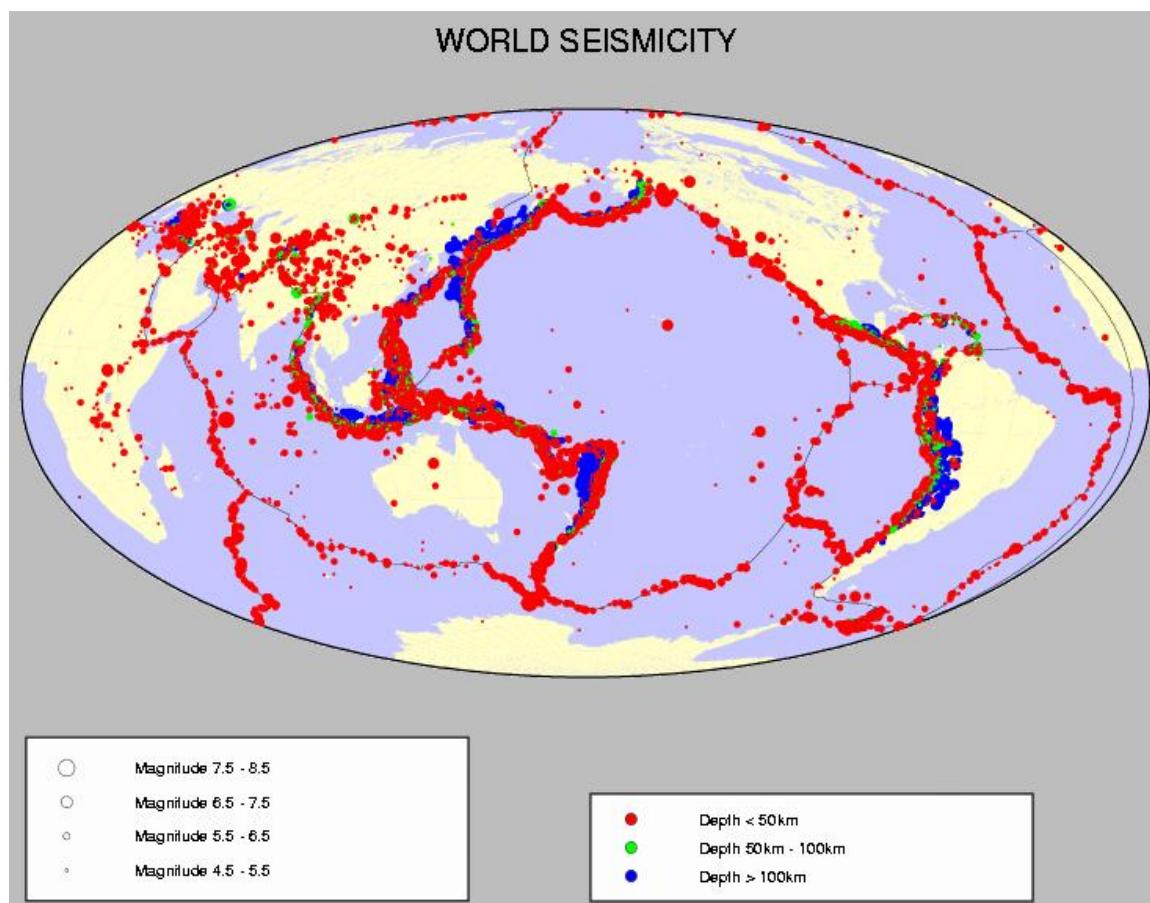


Figure 3 – Sismicité mondiale (<http://www.geologie.ens.fr/~vigny/tecto-f.html>). Les lieux des séismes coincident majoritairement avec les limites des plaques tectoniques.

## 2.3. MAGNITUDE D'UN SÉISME ET INTENSITÉS

Les études géophysiques instrumentales permettent de déterminer de manière précise où et comment les séismes se produisent et les facteurs intervenant dans les mécanismes des séismes.

En particulier, la magnitude d'un séisme mesure l'énergie libérée lors d'un séisme. Il existe différentes manières de l'évaluer, par une mesure d'amplitude d'ondes ou par le calcul d'un moment sismique. Il s'agit d'une échelle logarithmique c'est-à-dire qu'un accroissement de magnitude de 1 correspond à une multiplication par 30 de l'énergie. Cette terminologie a été définie en Californie par Richter au début des années 1930. On utilise communément l'échelle de magnitude de moment (notée  $M_w$ ) valable dans toutes les régions du monde.

Le calcul de la magnitude n'est pas toujours simple, car il faut connaître de nombreux paramètres dont les principaux sont la géométrie du glissement, l'amplitude du déplacement des deux blocs rocheux l'un par rapport à l'autre et des paramètres de propriétés physiques des roches impliquées. On peut aussi l'estimer à partir de grandeurs déduites des enregistrements sismologiques instrumentaux.

L'intensité caractérise les effets du séisme observés à la surface terrestre. Elle témoigne du ressenti de la population, d'éventuels dommages associés sur les constructions ou sur l'environnement. Elle est en général maximale à l'aplomb du plan de faille, on parle d'intensité épicentrale. L'intensité s'exprime généralement en chiffres romains afin de la distinguer de la magnitude (chiffres arabes). En Europe, les échelles les plus utilisées sont les échelles MSK 1964 (Medvedev, Sponheuer, Karnik), MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg, dans les années 20) et EMS-98 (European Macroseismic Scale, 1998). L'échelle EMS-98 (Figure 4), plus récente, est particulièrement adaptée aux différentes typologies des constructions actuelles.

Il n'y a pas de relation directe entre l'intensité et la magnitude. Un séisme de forte magnitude avec un foyer profond sera potentiellement peu destructeur et aura donc une faible intensité. Au contraire, un séisme superficiel (quelques kilomètres de profondeur), même de magnitude moindre pourra être très destructeur et donc caractérisé par une forte intensité.

<b>I</b>	<b>Imperceptible</b>	
<b>II</b>	<b>À peine ressentî</b>	Ressenti seulement par quelques rares personnes au repos dans leurs habitations.
<b>III</b>	<b>Faible</b>	Ressenti par quelques personnes à l'intérieur des bâtiments. Les personnes au repos ressentent une oscillation ou léger tremblement.
<b>IV</b>	<b>Largement ressentî</b>	Ressenti par de nombreuses personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques rares personnes à l'extérieur. Quelques personnes endormies sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle font un bruit de tremblement.
<b>V</b>	<b>Fort</b>	Ressenti par la plupart des personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques personnes à l'extérieur. De nombreux dormeurs sont réveillés. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans toute leur structure. Les objets suspendus oscillent nettement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent et se ferment.
<b>VI</b>	<b>Dégâts légers</b>	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Quelques objets tombent. Quelques maisons subissent de légers dégâts non structuraux (légères fissures, chute de petits morceaux de plâtre).
<b>VII</b>	<b>Dégâts</b>	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Le mobilier est déplacé et les objets tombent des étagères en grand nombre. De nombreux bâtiments bien construits subissent des dégâts modérés (petites fissures dans les murs, chute de plâtre, chutes partielles de cheminées). Des bâtiments plus anciens présentent des fissures dans les murs et des désordres au niveau des cloisons.
<b>VIII</b>	<b>Dégâts importants</b>	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à se tenir debout. De nombreuses maisons présentent des crevasses dans les murs. Quelques bâtiments bien construits présentent des désordres au niveau des murs, tandis que d'autres bâtiments plus anciens s'effondrent partiellement.
<b>IX</b>	<b>Destructeur</b>	Panique générale. De nombreuses constructions s'effondrent. Même les bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants (désordres au niveau des murs et effondrement partiel des structures).
<b>X</b>	<b>Très destructeur</b>	De nombreux bâtiments pourtant bien construits s'effondrent.
<b>XI</b>	<b>Catastrophe</b>	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent. Quelques bâtiments construits selon les règles parasismiques sont détruits.
<b>XII</b>	<b>Catastrophe complète</b>	Presque tous les bâtiments sont détruits.

Figure 4 – Échelle d'intensité macroseismique EMS-98

## 2.4. PRÉDIRE OU PRÉVOIR LES SÉISMES?

Si les études scientifiques en sismologie ont permis de déterminer statistiquement « où » et de comprendre les mécanismes fondamentaux de « comment » les séismes se produisent, la détermination de la date exacte d'un séisme de magnitude donnée à un endroit précis reste la difficulté majeure.

L'objectif des sismologues a longtemps été de mieux comprendre le processus de génération des séismes afin de quantifier d'éventuels phénomènes précurseurs mais surtout de pouvoir anticiper ou simuler les effets probables attendus d'un séisme (Bernard, 1995).

La question fondamentale posée par les sismologues est de savoir si un séisme peut être prédictible ou non.

Les Chinois, en pointe dans le domaine de la prévision des séismes (car leur territoire fait partie des zones sismiques les plus intenses et a payé un très lourd tribut de vies humaines), ont cru trouver une manière permettant de prévoir les séismes. Le site de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) de Strasbourg (<http://eost.u-strasbg.fr/>) cite : « Le gouvernement chinois lança à la fin des années 60 un programme de prédiction des séismes destructeurs affectant le pays. Pour cela, on décida d'impliquer la population en enseignant à plus de 100.000 Chinois des rudiments de sismologie. Les physiciens chinois se mirent à chercher tous les signes précurseurs "scientifiques" identifiés jusqu'alors mais aussi à surveiller d'autres signes comme le comportement des animaux ou la formation de bulles dans les puits, tous ces signes étant relevés par cette population formée. Ce n'est pas une méthode spécifique mais plutôt une utilisation d'un ensemble de méthodes. Cette méthode connut un succès retentissant avec la prédiction du séisme du 4 février 1975 à Haicheng de magnitude 7,3, la seule prédiction réussie d'un séisme très destructeur, il est vrai précédé d'un grand nombre de signes précurseurs. Mais elle connut un échec non moins retentissant avec la prédiction ratée du séisme suivant à Tangshan en 1976, de magnitude 7,8, le plus meurtrier depuis 400 ans, qui a fait environ 600.000 victimes. » Depuis, d'autres séismes ont été prédits en Chine (Zhang *et al.*, 1999).

Parallèlement, en Californie, la théorie de la dilatance-diffusion est testée sur des séismes de magnitudes de l'ordre de 5. Les résultats ayant plutôt été négatifs, cette théorie fut abandonnée et certains sismologues ont alors estimé que toute prédiction est impossible, comme Richter (l'inventeur de l'échelle des magnitudes) qui commentait en 1977 : « Les journalistes et le public bondissent sur la moindre évocation d'un moyen infime qu'on peut prévoir les séismes, comme des cochons affamés se ruent sur leur mangeoire. Ces éléments de prédiction sont un terrain de jeu pour les amateurs, les névrosés et les charlatans avides de publicité médiatique.» Ainsi, toute tentative de chercher ou d'émettre l'hypothèse que des séismes puissent être prévisibles n'a eu aucun écho dans la communauté scientifique sismologique : le sujet n'était pas digne d'être appelé « étude scientifique ».

En 1982, un nouvel espoir est venu avec la « méthode VAN » nommée selon les initiales de Varotsos, Alexopoulos et Nomicos, trois physiciens grecs respectés qui ont prédit avec succès des séismes en Grèce en se basant sur des signaux électriques émis par la zone où un séisme se produirait (voir liste des publications de Varotsos en annexe). La validité de leurs prédictions a été contestée et débattue par les scientifiques, elle a été l'objet d'un numéro spécial de GRL (v23, 1996). Alors que certains ont considéré le problème résolu (Varotsos *et al.*, 2006), certains soutenaient que les séismes ne sont pas prédictibles (Geller, 1997 ; Wyss, 1997).

Ces nouveaux espoirs ont conduit certains gouvernements (Japon et États-Unis) à financer des programmes d'études scientifiques sur le domaine. Ces programmes comportaient des études sur la vulnérabilité humaine face aux séismes, mais aussi en sismologie. Les sismologues ont alors commencé à intégrer des données issues d'autres domaines que la sismologie uniquement. La composante prédition des séismes du programme américain était un objectif clairement affiché, mais peu d'études en pratique étaient proposées, par manque de confiance des candidats soumis aux critiques virulentes des sismologues les plus sceptiques. Le programme le plus grand fut alors la mise en place d'une « Expérience de Prédition de Parkfield (Californie) ». L'idée était très simple, décomposée en 3 étapes :

1. déployer les instruments sur le site du séisme à venir ;
2. détecter et reconnaître les précurseurs ;
3. faire valider les résultats par des collègues et ensuite faire connaître au public par des canaux d'informations officiels.

Le site d'étude a été proposé après que l'USGS a défini une zone où un séisme pouvait se produire. Dans cette zone, un nombre impressionnant d'instruments a été installé (réseau sismique et géodésique denses, piézomètres, résistivimètres, capteurs géochimiques). L'ensemble des capteurs était télémétré et, en anticipation de l'étape 3, des protocoles de scénarios ont été préparés. Malgré le réseau dense d'instruments installés au niveau de la faille de San Andreas, dans la région de Parkfield, aucun précurseur à court terme évident n'a été observé avant l'événement de 2004 (Bakun *et al.*, 2005). Il reste cependant indéniable que la masse de données issues de l'instrumentation (GPS, satellite...) permet de contraindre de mieux en mieux le comportement d'une région sismogène<sup>2</sup>.

Au Japon, le programme s'est uniquement focalisé sur la prédition. En 1978, il n'était plus appelé programme de recherche et était focalisé sur la prédition d'un séisme de magnitude 8 dans une région très peuplée, le district Tokai dans la baie de Suruga à l'ouest de Tokyo. Les efforts furent mis uniquement sur l'étude scientifique des sources et la prédition, et négligeaient tout l'aspect prévention et ingénierie parasismique, ainsi que d'autres régions susceptibles d'être affectées. Cette politique désastreuse fut très néfaste lors du séisme de Kobe en 1995. Non seulement les études de vulnérabilité du bâti n'avaient pas été entreprises, mais les avertissements des géologues tectoniciens disant que la faille de Kobe pouvait être une des failles de fort

---

<sup>2</sup> <http://www.insu.cnrs.fr/a3348>, séisme-Haïti-12-janvier-2010.html

aléa, car dans la phase terminale du cycle sismique, avaient été complètement ignorés ; les secours ont mis plusieurs heures à arriver dans la zone la plus détruite.

Ces éléments ont conduit à adopter une vision différente de la prévision des séismes. La prévision des séismes peut se décliner selon 3 échéances :

- ✓ à long terme : de l'ordre de l'année au siècle (cycle sismique) ;
- ✓ à moyen terme : de l'ordre du mois à l'année ;
- ✓ à court terme : de l'ordre de la minute au mois.

La prévision des séismes à ces échéances différentes fait appel à des méthodes variées, chacune ayant ses objectifs et sa précision.

Les prévisions à moyen et long termes sont par essence des prévisions basées sur des études statistiques de la probabilité qu'un séisme de produise. L'objectif des prévisions à long terme n'est pas de prévoir le moment exact d'un séisme, mais plutôt d'étudier les aspects fondamentaux sur la source sismique, le cycle sismique et la réduction de la vulnérabilité humaine et du bâti. Cette idée est résumée dans l'adage qui dit que de nouveaux séismes se produiront là où des séismes se sont déjà produits et que par conséquent on ne peut se prémunir contre les séismes que par le respect des normes parasismiques. Les prévisions à long terme se basent sur des échelles de temps de l'ordre de 10 à 100 ans et sont basées sur des études géologiques et tectoniques des failles et des enregistrements historiques de la sismicité. Ces études sur le cycle sismique permettent de prévoir à quelques années près que des séismes de forte magnitude se produiront dans une région donnée. Par exemple, les études sur la sismicité historique et l'analyse tectonique des mesures GPS à Haïti (Ali *et al.*, 2008) indiquaient clairement qu'un séisme majeur pouvait se produire, entre autre, sur la faille de Enriquillo, non loin de Port-au-Prince et que des travaux de confortement du bâti étaient vitaux<sup>3</sup>. Dans la région du Tonankai-Nankai (Japon) un séisme majeur de magnitude supérieure à 8 est attendu dans les années qui viennent ; les pertes attendues pourraient être d'au moins 60 milliards d'euros, ce qui justifie que des travaux de consolidation des ouvrages d'art ont été entrepris à Tokyo depuis plusieurs années. Ces méthodes à long terme ont l'avantage de pouvoir donner des éléments importants sur les zones susceptibles d'être frappées de séismes majeurs et par conséquent de donner aux autorités et aux populations des éléments fiables pour justifier des mesures préventives (respect des normes de construction, préparation des scénarios de crise...).

Les prévisions à court terme sont les plus difficiles et les plus controversées. Le débat s'est développé à la fin des années 1990, par une série d'issues spéciales dans des grands journaux scientifiques (GRL, 1996 ; GJI, 1997 ; dans une section spéciale en 1999 dans un numéro spécial de la revue « Nature » auquel seulement des sismologues ont pris part). La sismicité peut être considérée suivant une échelle de prédictibilité à laquelle correspondent différentes échelles de temps (Main, 1999) :

---

<sup>3</sup> Voir par exemple le site [http://www.haitiwebs.com/forums/lakay\\_haitian\\_news/49674-la\\_terre\\_va-t-elle\\_trembler\\_en\\_haiti.html](http://www.haitiwebs.com/forums/lakay_haitian_news/49674-la_terre_va-t-elle_trembler_en_haiti.html), reproduit en annexe 3 du rapport.

- **aléa indépendant du temps.** La sismicité est considérée comme un processus aléatoire dans le temps. L'utilisation des localisations des séismes passés, des failles actives et des taux de vitesse des plaques permet de contraindre l'aléa sismique à long terme. Des calculs peuvent ainsi être menés afin d'évaluer la probabilité de survenue d'un certain type de séisme. Cependant compte tenu du caractère « non poissonnien » de la sismicité (il existe une dépendance temporelle inter-événement), un tel modèle n'est pas réaliste ;
- **aléa dépendant du temps.** On considère ici que l'aléa change avec le temps. La notion de séisme caractéristique permet de définir pour une région donnée une magnitude type attendue associée à un temps de récurrence approximatif déterminé à partir de catalogues de sismicité historique ou de la paléosismologie ;
- **prévision de séismes.** Certaines caractéristiques d'un séisme imminent sont recherchées à partir d'observations de signaux précurseurs. La prévision est faite sous forme de probabilité dans la mesure où la magnitude, l'hypocentre et le temps d'origine de l'événement ne sont pas connus précisément. Il existe cependant des explications physiques à l'apparition de signaux précurseurs. Une telle prévision passe par l'identification de précurseurs clairs. Elle est par ailleurs forcément associée à de fausses alertes ou à des événements ratés ;
- **prédiction déterministe.** On considère que la localisation, la magnitude et la date de survenue d'un tremblement de terre sont prédictibles à un niveau étroit d'erreur près.

Peu de sismologues considèrent que la prédiction déterministe des séismes puisse être un objectif raisonnable. Pour ces séismes à venir proches de zones habitées, il est cependant nécessaire de trouver des moyens de prédire les séismes à court terme et de poursuivre les recherches.

Malgré la difficulté de la tâche et les vues pessimistes, sinon désespérées, force est de constater que des progrès scientifiques significatifs ont été effectués dans la recherche de précurseurs de séismes majeurs à court terme, comme en témoignent par exemple les travaux récents de Uyeda *et al.*, (2009) et de Cicerone *et al.*, (2009). Ils citent, par exemple, des changements de modèle de sismicité se produisant avant les séismes (Wyss & Booth, 1997). La prédiction à moyen terme est entrée dans le domaine de la preuve statistique (Keilis-Borok, 1996; Kossobolov *et al.*, 1999) et des progrès sont actuellement en cours pour la prévision à court terme (Keilis-Borok *et al.*, 2004). De même, le lancement de satellites spécifiquement dédiés pour l'étude des précurseurs de séismes permet aux scientifiques d'accéder à un nouveau type d'observations et de mieux détecter des phénomènes variés à tous les stades du cycle sismique (Thomas, 1988 ; Hayakawa *et al.*, 2000).

Dans la suite de ce rapport, l'objectif est de faire un état de l'art sur l'ensemble des études scientifiques portant sur les précurseurs de séismes majeurs à la lumière des travaux anciens et récents.

### 3. Les méthodes utilisées pour détecter des précurseurs de séismes majeurs

#### 3.1. MÉTHODE DE TRAVAIL

##### 3.1.1. Recherche et validation des documents

Afin d'optimiser la recherche de documents, nous avons procédé de la manière suivante. Plusieurs sources de documentation ont été prospectées :

- recherche sur le web à partir de mots clés, les mots clefs principaux utilisés sont en français : « séisme », « tremblement de terre », « précurseurs de séismes », « cycle sismique », et leur équivalent en anglais, en russe et en italien ;
- recherche de volumes spéciaux dédiés à l'étude scientifique des précurseurs de séismes, dans les revues scientifiques principales en sismologie et en sciences. Nous avons trouvé notamment huit volumes consacrés au sujet (voir listes bibliographiques complètes en annexe) :
  - o Geophysical Research Letters (1981),
  - o Tectonophysics (1992),
  - o Geophysical Research Letters (1996),
  - o Geophysical Journal International (1997), Vol. 131 Issue 3, 413 – 594,
  - o Nature (1999),
  - o Pure and Applied Geophysics (2004),
  - o Pure and Applied Geophysics (2010) – 2 volumes ;
- contact de chercheurs d'instituts dans le monde travaillant sur le sujet. Plusieurs pays sont concernés et les instituts principaux ont été contactés. Les adresses ont été obtenues soit par le web directement ou par lecture des articles. La liste des contacts est donnée en annexe ;
- achat d'ouvrages spécifiques sur les recherches portant sur les modifications du comportement animalier, peu d'articles ayant été trouvés dans les journaux scientifiques « déterministes ». Ces ouvrages sont :
  - o Ikeya M. (2004) - Earthquakes and animals: from folk legends to science. p. 1-296,
  - o R. Sheldrake (2003) - The Sense of Being Stared at: And Other Unexplained Powers of the Human Mind, Three Rivers Press, 384 pages,
  - o R. Sheldrake (1999) - Dogs That Know When Their Owners Are Coming Home: And Other Unexplained Powers of Animals. Three Rivers Press, 368 pages.

Cette recherche a permis d'extraire de nombreux liens sur des articles scientifiques publiés dans des revues internationales telles que Nature, Journal of Geophysical Research, Geophysical Journal International, Geophysical Research Letters, Physics of the Earth Interiors, Bulletin of Seismology of America, etc. Une fois les articles repérés, un fichier numérique (PDF principalement) a été récupéré soit par le web ou par contact direct auprès des auteurs. Une première lecture des articles a ensuite été effectuée pour les classer par méthode. Une lecture plus approfondie a été ensuite effectuée pour les articles les plus significatifs. L'importance d'un article est indiquée par la qualité du journal (« index factor » et réputation dans son domaine).

Nous avons aussi choisi initialement de mettre l'accent sur la recherche de travaux effectués en Chine, car ce pays est *a priori* celui où les recherches en matière de prévision des séismes sont le plus avancées et le moins imprégnées *a priori* négatif. Une recherche par mots clés en chinois et contact d'instituts chinois a été effectuée par Lihua Yin. De nombreux articles écrits en chinois ont été découverts de cette sorte. Il est apparu que l'essentiel des articles en chinois avait un équivalent en anglais disponible dans un autre journal ou le même journal. Le même constat est apparu pour la recherche d'articles en russe et en espagnol. Par conséquent, nous avons fait l'hypothèse suivante valable dans tous les pays concernés : les chercheurs qui ont des résultats prometteurs sur la question des précurseurs veulent faire connaître leurs travaux et le font en anglais (le cas de la Grèce est particulièrement éloquent) : les travaux significatifs sont toujours rapportés en anglais. Par conséquent, nous n'avons pas cherché des articles spécifiquement en grec, turc, japonais, etc.

### 3.1.2. Définition des précurseurs et sélection des documents

Les mécanismes généraux de la génération des séismes et la difficulté de détecter des précurseurs fiables et systématiques permettent de comprendre pourquoi la variété des méthodes utilisées dans ce but est vaste et que, par conséquent, le nombre d'articles associés est gigantesque.

Dans la recherche des documents, on s'est alors limité aux lieux identifiés dans les zones à risques de la tectonique générale sans écarter les séismes associés aux catastrophes historiques et on a sélectionné les documents dont l'objectif était d'identifier des signes précurseurs susceptibles d'être liés à un séisme. Différentes équipes de chercheurs ont développé des méthodes de prédictions déterministes. Pour valider une telle méthode, nous avons vérifié que ces équipes suivaient la procédure suivante :

- ✓ identification des éléments précurseurs et définition précise des anomalies observées, comme par exemple, une variation des vitesses des ondes, des observations de surélévations du sol, des phénomènes électromagnétiques, des anomalies de composition d'eau en fonction du temps ou encore des comportements animaliers étranges ;
- ✓ établissement d'une corrélation entre ces anomalies et des séismes observés par la suite ;
- ✓ interprétation des anomalies par des processus physiques réalistes ;

- ✓ élaboration d'un modèle physique prédictif, dans la mesure du possible.

Cette approche nous a permis d'éliminer tous les articles scientifiques portant sur les études exclusivement co-sismiques et post-sismiques et de classer les méthodes de détection de précurseurs.

### **3.2. CLASSIFICATION DES MÉTHODES ET MÉCANISMES ASSOCIÉS**

On a aussi noté l'existence de différents types d'articles : des articles de portée générale, ne portant pas sur une méthode particulière (par exemple Cicerone *et al.*, 2009), des articles portant sur un séisme particulier avec une ou plusieurs méthodes (par exemple Biagi *et al.*, 2008), des articles portant sur des expérimentations en laboratoire, permettant de valider des hypothèses de mécanisme issus des observations (par exemple : Freund, 2007a et 2007b).

Pour les précurseurs à long terme et moyen terme, les méthodes sont essentiellement statistiques et portent sur l'analyse de la sismicité (précurseurs sismiques et répliques sismiques) et le cycle sismique.

Pour les précurseurs à court terme, une variété de signaux a été rapportée avec des méthodes différentes correspondant aux effets que la roche et le milieu subissent juste avant le séisme proprement dit, comme le changement de contraintes localement, l'ouverture de micro-fractures, le dégagement de gaz piégé, la libération de fluides piégés, etc.

Ci-dessous, nous donnons la liste de l'ensemble des fiches méthodes détaillées dans la suite du rapport. Les observations de court terme sont mises en relation avec des séismes :

- ✓ analyse de la déformation du sol en relation avec le cycle sismique : géodésie, sismicité et émissions acoustiques ;
- ✓ observations thermométriques ;
- ✓ observations hydrogéochimiques ;
- ✓ observations d'émission de gaz ;
- ✓ observations électromagnétiques au sol et dans l'ionosphère ;
- ✓ observations dans l'atmosphère ;
- ✓ observations du comportement des animaux.

Chaque méthode a ensuite fait l'objet d'une étude spécifique pour l'établissement de « fiche méthode », rapportée de deux manières différentes. D'une part dans les paragraphes ci-dessous, on décrit la méthode en rapport avec le mécanisme associé. Ensuite chacune des méthodes est décrite en détail.

### 3.2.1. Analyse des mouvements du sol : géodésie, sismicité

Les zones sismogéniques au bord de la rupture sont dans un état critique où même une petite perturbation peut déclencher un tremblement de terre. Par ailleurs, les zones de failles sont très hétérogènes : la localisation précise du lieu où va s'initier un tremblement de terre est très difficile à préciser. Afin de localiser à long terme le lieu et le cycle approximatif d'occurrence de grands tremblements de terre, une première approche consiste à étudier la structure de la région afin d'en localiser les hétérogénéités. Dans l'idéal, ceci pourrait permettre de localiser les zones où concentrer des réseaux d'instruments afin de mesurer un ensemble de paramètres physiques mesurables. L'étude des catalogues de sismicité historique peut permettre de préciser les caractéristiques locales du cycle sismique et ainsi préciser à long terme à quel stade se trouve une faille : préparation d'un séisme, stades post-sismique ou inter-sismique...

Des observations ont été faites montrant des déformations du sol sur des distances de dizaines de kilomètres avant d'importants séismes. Le nombre de GPS permanents et de bonne qualité est de plus en plus important dans des zones reconnues comme sismogènes, la présence de réseaux denses a ainsi permis de détecter des phénomènes nouveaux : les trémors et les séismes lents qui font partie du processus de sismogénèse (Dragert *et al.*, 2001 ; Rogers & Dragert, 2003; Obara, 2002). De tels phénomènes sont observés dans d'autres contextes, comme dans le domaine de la volcanologie, mais pas au niveau de failles sismogènes. La télédétection devrait aussi apporter d'importantes clefs à la problématique de la prévision de séismes. Elle peut permettre par exemple de cibler les segments de faille les plus bloqués ou les plus couplés.

Diverses approches ont été utilisées afin de détecter d'éventuels phénomènes précurseurs à partir de l'analyse de la sismicité. Des méthodes empiriques ont permis d'observer certains phénomènes *a posteriori*. Par exemple, l'analyse de catalogues de sismicité a montré certaines variations dans le temps et dans l'espace de la sismicité avant la rupture d'un grand séisme ou la survenue de séismes précurseurs. D'autres études montrent des variations du signal sismologique avant un séisme : variation de la vitesse des ondes, de la coda ou du contenu fréquentiel, etc. Enfin, par une approche plus mécanique, en passant par l'étude de l'initiation ou de la préparation de la rupture, la compréhension de l'ensemble des processus physiques en jeu pouvant conduire à un séisme pourra permettre de déterminer si certains paramètres physiques associés à la préparation d'une rupture pourraient être mesurables. Ceci ne sera possible qu'une fois que la mécanique des tremblements de terre sera bien comprise.

Des études récentes et des observations ont montré que le processus de génération d'un tremblement de terre n'est pas totalement aléatoire : les séismes sont localisés majoritairement le long des frontières de plaque ou de failles actives et leur survenue ne montre pas un processus totalement aléatoire. Différents faits comme la répartition des séismes en fonction de leur magnitude, le comportement en essaims des séismes dans le domaine spatio-temporel, la relative constance de la chute de contrainte et le fait qu'une petite perturbation de contrainte puisse favoriser l'occurrence d'un séisme montrent le relatif degré de déterminisme et de prédictibilité des tremblements de terre.

Le problème est la possibilité ou non de prédire « un » séisme. Récemment, des études ont permis de prévoir la localisation probable des répliques suivant un grand séisme en Italie ou en Californie de manière relativement probante (Vorobieva and Panza, 1993 ; Gerstenberg *et al.*, 2005 ; Murru *et al.*, 2009). Après la survenue d'un choc principal, des cartes montrant la probabilité de survenue de répliques sont actualisées. Ceci a été mis en place lors de la crise italienne de l'Aquila en 2009.

### **3.2.2. Thermométrie**

Les variations anormales de la température et de la conductivité thermique du sol et de la basse atmosphère sont étudiées depuis vingt ans. Le sujet réclame encore des données en quantités suffisantes afin de développer son potentiel. Ces anomalies ont été observées avant les séismes d'Izmit et Taiwan (1999).

Les observations se font par capteurs de températures et satellites infrarouges (IR).

L'élévation de la température de quelques degrés et quelques jours avant l'événement pourrait s'expliquer par les phénomènes suivants :

- ✓ la chaleur dégagée par la friction des roches sous contraintes en élévation diffuse thermiquement par les roches jusqu'à la surface ;
- ✓ cette chaleur est communiquée aux fluides souterrains qui peuvent voir leur niveau s'élever avant un séisme (précurseurs hydrologiques). Ces eaux servent alors de vecteurs à la chaleur ;
- ✓ le déplacement d'électrons (défauts d'électrons dits « p-holes ») vers la surface, leur accumulation et leur décharge pourraient provoquer l'échauffement de l'atmosphère (phénomène lié aux éclairs ou « Earthquake Lights » EQL) ;
- ✓ la décharge de gaz, dont CO<sub>2</sub> et radon, crée un effet de serre local.

Comme pour les précurseurs ionosphériques, la difficulté principale de la méthode consiste à discriminer le signal escompté des variations de fond complexes dues à la complexité des flux de l'atmosphère et du sol.

### **3.2.3. Hydrogéochimie et émission de gaz**

La définition en termes géochimiques d'un effet précurseur repose sur l'hypothèse suivante : l'existence des anomalies est liée à un réajustement des contraintes provoquant de la micro-fracturation. Par conséquent, l'existence de ces anomalies doit être plus prononcée dans le cas de séismes de magnitude importante, Biagi *et al.* (2000a, b et c) citant une limite basse à M 6,5. Nous verrons cependant que des effets précurseurs – ou des effets définis comme tels – peuvent être remarqués pour des magnitudes bien inférieures.

Les réajustements de contraintes peuvent entraîner des changements de perméabilité et de porosité dans la roche et modifier les écoulements des fluides profonds. Ces concepts ont été testés dans les années 1980 (Dobrovolsky *et al.* 1979 ; Jiang & Li,

1981a et 1981b; Varshall *et al.*, 1985) sur des expériences de laboratoire et des tests sur le terrain. Ces auteurs ont ainsi mis en évidence :

- l'existence d'anomalies sismo-géochimiques de long terme apparaissant reliées à la déformation élastique des roches lors du chargement en contrainte avant l'évènement sismique ;
- l'existence d'anomalies de court terme apparaissant reliées à la déformation plastique de la roche ;
- l'existence d'anomalies impulsives (type « spike ») reliées au déplacement en cisaillement avant le séisme ;
- par ailleurs, les changements de chimie de l'eau et l'échappement de gaz sont le résultat de la fracturation des roches qui ouvre des chemins pour la migration de l'eau depuis des aquifères confinés et des gaz depuis la croûte profonde ;
- enfin, les réactions chimiques induites par une augmentation des contraintes dans la région épicentrale peuvent provoquer les changements de composition chimique de l'eau observés avant certains gros séismes.

Les débuts de fracturation de la roche sont accompagnés par la séparation des composés volatils. Les propriétés prédictives des composés relâchés sont associées à leur nature chimique et les formes sous lesquelles ils existent dans les roches. La libération d'eau pendant le chargement mécanique augmente graduellement avec l'augmentation de la charge. Par exemple, la séparation de l'hélium commence dès les premières étapes de la fissuration. La majeure partie du gaz radon est libérée aux stades avant la fissuration et de la phase dynamique de la formation du tremblement de terre, alors que le mercure dégaze principalement au stade dynamique immédiatement avant la rupture de l'échantillon. La quantité de volatils libérés par la roche durant le chargement en pression est supérieure de 1 à 2 ordres de grandeur à celle qu'elle est naturellement ; pour le radon et le mercure le processus de séparation est de type pulsé (apparition franche d'un pic juste avant la rupture).

Enfin, d'autres paramètres sont à prendre en compte dans la définition d'un effet précurseur. Parmi eux, signalons dès maintenant la période temporelle maximale durant laquelle on peut prétendre observer un tel effet ; elle est souvent proche de 158 jours (ex. Biagi *et al.*, 2000a), mais certains auteurs remontent à des durées bien supérieures (plusieurs mois : Jiang & Li, 1981a et 1981b à plusieurs années : Wakita *et al.*, 1988). Des modèles et expériences de propagation ci-avant décrites dépend aussi la définition de l'aire géographique dans laquelle un effet précurseur peut être décrit. Des rayons de 350 km autour de la zone épicentrale sont cités dans le cas de gros séismes (M 7,7 ; Biagi *et al.*, 2000b), mais sont évidemment fonction de la structure géologique entre la zone de rupture et la zone d'étude, une connexion structurale entre ces 2 ensembles étant nécessaires pour déceler une anomalie. Un autre paramètre très important à étudier, puisque les études observent des objets géologiques situés en proche surface, est celui de l'influence des paramètres météorologiques, afin de veiller à ce que les irrégularités observées sur les paramètres enregistrés n'en soient pas fonction (ex. Heinicke et Koch, 2000). De ces constats dépend en effet grandement la définition d'une anomalie, souvent proposée comme tout signal d'amplitude supérieure à 3 fois la déviation standard.

Pour finir, notons que les effets précurseurs sont presque toujours dénommés comme tels après la survenue du séisme. De plus, nombre d'auteurs soulignent qu'il est nécessaire d'avoir une conjonction de phénomènes sur plusieurs méthodes pour augmenter la fiabilité de la prédiction, de disposer de réseaux de mesure à grande échelle et sur le long terme.

### **3.2.4. Électromagnétisme au sol et satellitaire (ionosphère)**

Parmi les mécanismes proposés pour la génération de signaux électriques et magnétiques à différentes fréquences, un certain nombre de mécanismes ont été proposés (Ogawa *et al.*, 1985 ; Qian *et al.*, 1998 ; Uyeda *et al.*, 2009). On distingue :

- ✓ les effets electrocinétiques. Ce phénomène très bien compris est provoqué par la présence d'une interface liquide/solide où une double couche d'ion se forme. La double couche comporte des ions (principalement des cations) retenus sur la surface du solide et des ions de charge opposée (principalement des anions) dans la phase liquide faiblement attachés à la couche de cations. Le liquide est donc en surplus d'anions, ce qui fait qu'en cas de circulation du fluide sous un gradient de pression, un potentiel électrique apparaît ;
- ✓ les effets piézoélectriques. Un courant électrique est généré lorsqu'une roche est soumise à une contrainte ;
- ✓ le mouvement rapide de fluides ou de roches chargées électriquement. Ces déplacements provoquent des signaux magnétiques ;
- ✓ ionisation de l'air par des électrons émis par la roche en fracturation.

Lors de la phase préparatoire d'un séisme, ces mécanismes sont évoqués pour expliquer l'existence des signaux électriques, électromagnétiques mesurés dans le sol et dans l'atmosphère.

### **3.2.5. Observations atmosphériques (effets lumineux, nuages...)**

Étudiant l'aspect atmosphérique des phénomènes électromagnétiques, de nombreux travaux russes et japonais sont consacrés depuis 40 ans aux perturbations des couches ionisées de l'ionosphère précédant de quelques jours les séismes, sur une extension de plusieurs centaines de kilomètres. De tels phénomènes ont été observés précédant notamment les séismes de Kobe (1995) et Sumatra (2004).

Du fait de leur composition ionisée, les couches de l'ionosphère sont susceptibles d'être influencées par les perturbations électriques engendrées par le sol avant les séismes. Plusieurs mécanismes sont proposés (déplacement d'électrons s'accumulant au niveau du sol et se déchargeant vers l'atmosphère, perturbation du champ électrique...) conduisant à la modification des densités d'électrons et ainsi des caractéristiques fondamentales des couches de l'ionosphère (fréquence critique, altitude virtuelle).

Plusieurs techniques existent pour observer les perturbations de l'ionosphère :

- ✓ analyse des ionogrammes ;
- ✓ analyse des données obtenues par satellites sur la composition des couches de l'ionosphère ;
- ✓ étude des ondes électromagnétiques transmises via propagation dans l'ionosphère.

La discrimination par rapport aux signaux normaux est particulièrement difficile car l'atmosphère est le lieu de phénomènes complexes. Il s'agit là d'une des pistes essentielles d'amélioration de la méthode.

D'autre part, l'atmosphère est le siège de phénomènes de décharges lumineuses intenses observées depuis des siècles. Ces décharges inhabituelles de couleurs et de formes variées (Earthquake Lights, EQL) sont sérieusement étudiées et attribuées à l'accumulation et à la décharge d'électrons, ainsi qu'aux conséquences de l'émanation de gaz (dont CO<sub>2</sub> et radon) sur la stabilité de clusters d'ions.

### **3.2.6. Comportement des animaux**

Un comportement anormal et massif d'animaux a souvent été remarqué par la population en tant que signe précurseur de séisme. Ce fut le cas pour les vers de terre avant le tremblement de terre de Lisbonne de 1755 (Kant, 1756a, 1756b, 1756c) ; ou pour celui de Haicheng, en 1975, pour ne citer que les plus connus. Une grande variété d'espèces de tous milieux est concernée : reptiles, oiseaux, mammifères, insectes... Ces observations ont été faites depuis si longtemps (exemple Figure 2) que certains animaux, tels les poissons-chats dont on a observé les convulsions anormales avant les séismes japonais, sont entrés depuis des siècles dans les légendes populaires en recevant des attributs tels que la capacité à déclencher des séismes par leur colère.

Ce caractère éminemment populaire et folklorique des anomalies de comportement animalier les a empêchées jusqu'à récemment d'être considérées comme des sujets jugés dignes d'investigation scientifique. À l'heure actuelle, deux auteurs, Sheldrake (2003) et Ikeya (2004) sont les principaux auteurs étudiant le sujet avec des méthodes scientifiques.

Selon Ikeya (2004), la théorie électromagnétique, qu'il a investiguée grâce à des expériences *in vivo*, est la plus plausible pour expliquer le comportement des animaux. Les animaux réagiraient nerveusement au champ électrique créé par les conditions pré-sismiques. D'autres mécanismes ont été évoqués pouvant également expliquer le comportement des animaux : émanations de gaz, ondes P se propageant plus rapidement de quelques instants que les ondes S, ondes acoustiques.

Les observations vont de quelques secondes à quelques jours précédant le séisme, et jusqu'à quelques centaines de kilomètres. En Chine, la population est formée à détecter et signaler toute anomalie animalière ; des réseaux expérimentaux universitaires au Japon existent et analysent par exemple le comportement des poissons-chats.

Les principaux obstacles à la méthode sont ceux qui ont déjà été répertoriés pour les autres méthodes :

- ✓ ces précurseurs se sont manifestés avant certains séismes et non avant d'autres ;
- ✓ la difficulté à discerner l'anomalie du « bruit de fond » est particulièrement délicate car le vivant se comporte déjà de façon complexe dans des conditions normales ;
- ✓ la durée et l'extension des anomalies sont très variables d'un séisme à l'autre.

En outre, un doute subsiste dans la communauté scientifique concernant l'aptitude des témoins à se comporter en tant que « capteurs » objectifs. Le processus humain d'observation et de mémorisation est complexe et les biais de mémoire sélective ne seraient pas à exclure dans les témoignages postérieurs (Sheldrake, 2009).

Cependant, cette méthode a contribué, en association avec l'étude de la séquence de pré-secousses, à la seule prédiction réussie de séisme de très grande ampleur (Haicheng).

### **3.3. ANALYSE DE LA SISMICITÉ ET DE LA DÉFORMATION: CYCLE SISMIQUE, PRÉCURSEURS, RÉPLIQUES**

Un certain nombre de séismes ne surviennent pas soudainement. Certains sont précédés d'événements précurseurs (« foreshocks ») quelques jours avant leur temps d'origine, d'autres par une accélération de la sismicité de quelques années, une « pré-activité » de quelques mois ou un calme sismique relatif. À partir de ces caractéristiques de la sismicité, certaines prévisions ont été réalisées à différentes échelles de temps.

#### **3.3.1. Principes des méthodes**

##### *Lacunes et cycles sismiques*

La prévision à long terme des séismes consiste à localiser les failles actives et la taille des séismes attendus. À moyen terme, l'augmentation exponentielle du nombre de stations d'observation a permis de mettre en évidence des comportements caractéristiques de certaines failles le long desquelles sont observées des ruptures « répétitives », c'est-à-dire dont la magnitude, la distribution et le style de glissement sur la faille se répètent sur au moins deux événements consécutifs (Sieh, 1996). C'est le cas de la région de Parkfield, au niveau de la faille de San Andreas, où il semble que les séismes de 1922, 1934, 1966 et dans une moindre mesure 2004 eurent des caractéristiques communes. Parmi de multiples études menées sur ces sujets, Wen *et al.* (2007) localisent l'épicentre du séisme Ms8.1 de Kokoxili en Chine (2001) au niveau d'une lacune de la faille de Kunlun. Zuñiga and Wyss (2001) proposent les localisations les plus probables des grands séismes le long de la côte mexicaine en localisant les aspérités où le maximum de moment sismique libéré est attendu. Ces

exemples montrent que les grands séismes résultent de la rupture d'un ou plusieurs patchs persistants après plusieurs événements. Ceci impliquerait que les propriétés physiques qui contrôlent la forme et l'amplitude du glissement sur une faille sont quasi-invariantes.

Cependant, les prévisions à moyen terme ne peuvent pas répondre à la question : quand et où un grand séisme s'initiera.

#### *Variations spatio-temporelles de la sismicité*

L'amélioration de l'instrumentation tant au niveau mondial qu'au niveau local permet des études de plus en plus fines de la sismicité. Il a ainsi été possible de reconnaître certains phénomènes corrélés à la préparation d'un grand tremblement de terre. De nombreux auteurs ont ainsi reconnu *a posteriri*, la présence d'une période de calme sismique pouvant durer plusieurs années au niveau d'une région assez large autour du futur épicentre éventuellement suivie d'une période rapide d'augmentation de l'activité sismique autour du futur hypocentre (Mignan, 2008 ; Zuñiga and Wiemer, 1999 ; Sobolev, 2001 ; Sobolev *et al.*, 2002 ; Huang *et al.*, 2002 ; Huang & Sobolev, 2001 et 2002 ; Dasgupta *et al.*, 2007 ; Enescu & Ito, 2001). De telles caractéristiques ont été reconnues avant le séisme de Kobe en 1995 ou d'Izmit en 1999, au Kamchatka, etc.

Des analyses statistiques des catalogues de sismicité ont tenté de prévoir la survenue de grands tremblements de terre à partir de l'algorithme de « pattern recognition » ou « reconnaissance de motifs ». Keilis-Borok (1996) a montré qu'un séisme de magnitude  $M$ , de dimension  $L(M)$  est précédé de quelques années par certaines caractéristiques de la sismicité de magnitude allant jusqu'à  $M-3$  dans une zone de dimension entre  $5L$  et  $10L$ . Des travaux de ce type ont permis à Novelo-Casanova (2005) de prévoir la survenue du séisme de  $Mw=8$  de Colima, au Mexique (1995) à un an près. Il prévoit en fait la zone ayant la plus grande probabilité de subir un grand tremblement de terre dans un laps de temps spécifié. Ce genre de prévision reste à moyen terme et cantonné aux zones sismiquement actives où l'observation d'un grand nombre de séismes et la connaissance historique de l'occurrence des séismes permettent par une approche probabiliste d'identifier les segments qui devraient se rompre prochainement. De telles études ont par exemple été réalisées dans le pourtour pacifique. Dans des zones sismiquement moins actives, comme l'arc antillais, la mémoire d'événements passés est moins fiable et on ne peut exclure des zones où de tels grands événements seraient en préparation.

Romashkova (2009) a mis en évidence le fait que la lithosphère dans son ensemble avant le grand séisme de Sumatra de 2004 a montré un comportement instable avec des symptômes tels que le changement de distribution fréquence-magnitude, la variation du taux de sismicité ou la redistribution en profondeur des séismes. De tels résultats impliquent que le processus de génération de séismes ne soit pas localisé proche de la source, mais sur une zone bien plus étendue, une dizaine d'années avant la date du séisme. D'autres études montrent la présence d'une zone de renforcement sismique autour d'une future source pour 95 % des séismes ; des variations périodiques des caractéristiques spectrales de la sismicité (Song *et al.*, 1999). Certaines méthodes mises en œuvre pour reconnaître des séquences liées à un

phénomène précurseur sont empruntées à la statistique, comme la « fuzzy information processing method » (Wang *et al.*, 1999).

Le problème dans ce genre de méthode est de définir un niveau « normal » de sismicité (Jackson, 1996) qui pourrait servir de niveau zéro avant la survenue d'un éventuel phénomène précurseur. Il est ainsi important de bien définir des probabilités liées aux intervalles de temps, de lieu et de magnitude.

#### *Déformations transitoires inter sismiques et genèse des grands séismes*

Le long de failles majeures atteignant la surface, comme celle de San Andreas, des phénomènes de glissement asismiques continus ou transitoires ont été observés (Nadeau et McEvilly, 2004). Ce glissement peut ne se produire que sur quelques kilomètres ou sur toute l'épaisseur de la croûte cassante pour certains segments de faille. Les événements transitoires asismiques se produisent à différentes échelles (heures, jours ou mois). Les séismes « lents » ou « silencieux » peuvent être observés sous la forme de glissements basse fréquence transitoires significatifs pouvant se produire sur les failles pendant quelques minutes (Linde *et al.*, 1996).

Depuis quelques années, ces nouveaux signes d'activité ont été observés dans différentes zones de subduction : les séismes lents et les trémors. De tels phénomènes transitoires pourraient dans certains cas représenter des signaux précurseurs de grands séismes de subduction (Hirn et Laigle, 2004). Dans les régions très instrumentées de la subduction du Japon ou des Cascades au Nord-Ouest des États-Unis, des signaux sismiques faibles ont été découverts : les « trémors » non volcaniques (Obara, 2002 et Rogers et Dragert, 2003). Ils sont attribués à la présence de fluides au niveau de la source sismique. Il semble que ce phénomène soit associé à la présence d'eau au niveau de la plaque plongeante issue de phénomènes de déshydratation des roches sous certaines conditions de pression et de température. Cette eau peut participer à la genèse des trémors. Ces événements peuvent permettre de mieux comprendre les processus de genèse des séismes. En outre, d'après Mazzotti et Adams (2004), la probabilité de survenue d'un grand séisme de subduction augmente dans la région des Cascades pendant un événement de type trémor. La détection automatique de ce type d'événement est possible (Kao *et al.*, 2005). Des trémors ont été observés dans diverses régions, outre l'ensemble de la région des Cascades, au Costa Rica, en Alaska, au Chili, en Nouvelle-Zélande ou le long de la faille de San Andreas. Bakun (2005) suggère que les trémors profonds sous une zone de faille bloquée posent une question ouverte : est-ce un phénomène précurseur à la rupture d'un séisme important ou un phénomène commun à tout segment de faille ?

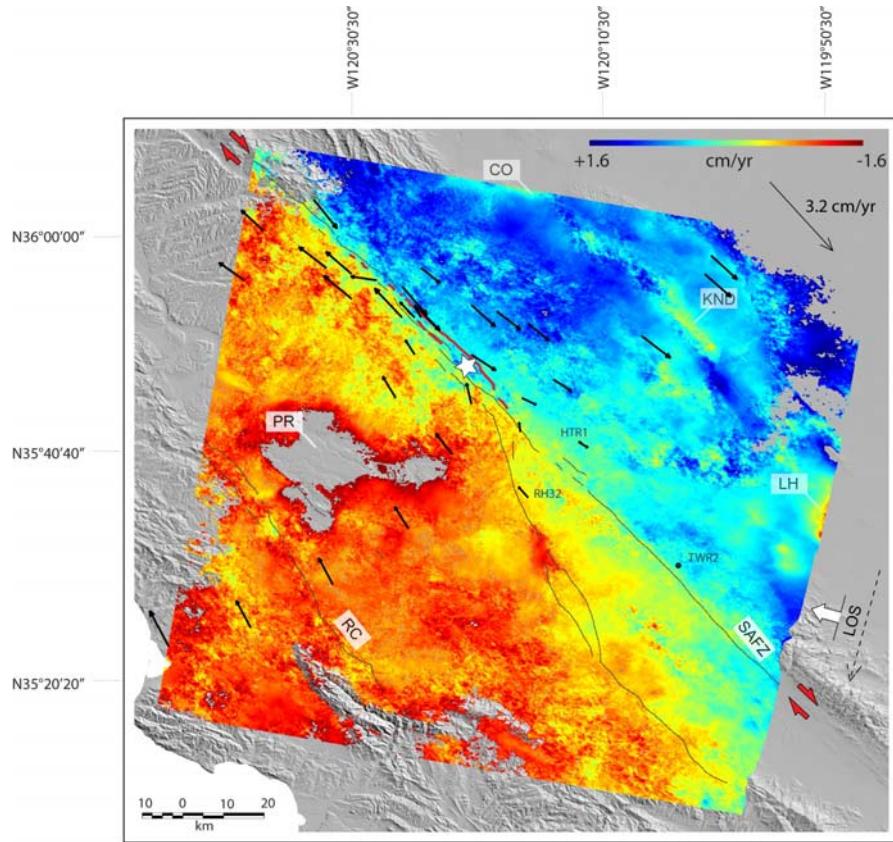
Par ailleurs, les séismes lents (ou silencieux) sont des ruptures lentes qui n'induisent pas d'ondes sismiques. De tels phénomènes ont été découverts grâce à la densification des réseaux GPS, pour la première fois dans la région des Cascades (Dragert *et al.*, 2001). En fait les séismes lents sont accompagnés de trémors, on parle de « tremor and slip event » (ETS). Les séismes lents se produisent en profondeur, ils sont transitoires, épisodiques, représentent des déplacements de l'ordre de quelques centimètres sur une période de plusieurs semaines. Ils sont accompagnés de bruit sismique énergétique (les trémors) qui ont une signature particulière (Kao *et al.*, 2005).

En fait, les événements ETS se produisent au-delà de la zone bloquée des failles, en profondeur ; il semble qu'ils se produisent au niveau de zones de faille bloquées susceptibles de rompre. Les ETS ne sont pas des précurseurs à court terme, mais leur survenue augmente le niveau de contrainte sur la faille bloquée et la survenue d'un tel événement peut favoriser la rupture, sans que l'on sache lequel de ces événements épisodique le fera.

#### *Observations de déformation en surface*

De nombreuses études se sont concentrées sur l'observation de la déformation de la surface à travers l'observation du mouvement du sol, de l'inclinaison, des déformations ou des variations de la déformation (Rikitake, 1975 ; 1976). De nombreux séismes de magnitude supérieure à 6 ont été associés à des déformations de la surface et dans certains cas il a été montré que les déformations observées étaient des précurseurs de séismes importants (Cicerone, 2009). Les mesures de déformation du sol étaient autrefois coûteuses en temps (laser...) et ne permettaient pas un échantillonnage détaillé. Grâce aux mesures de GPS de plus en plus nombreux et aux images satellitaires interférométriques, il est possible de mesurer l'évolution dans le temps de la position du sol ou de la déformation sur des zones étendues. Il reste cependant difficile de faire ce genre de mesure avant un grand séisme. DeMichele *et al.* (2008) observent la déformation autour de la faille de San Andreas à partir d'images InSAR. Ils constatent que de telles mesures leur permettent de localiser le futur épicentre du séisme de Parkfield de 2004 (Mw6.3), là où la faille semble bloquée.

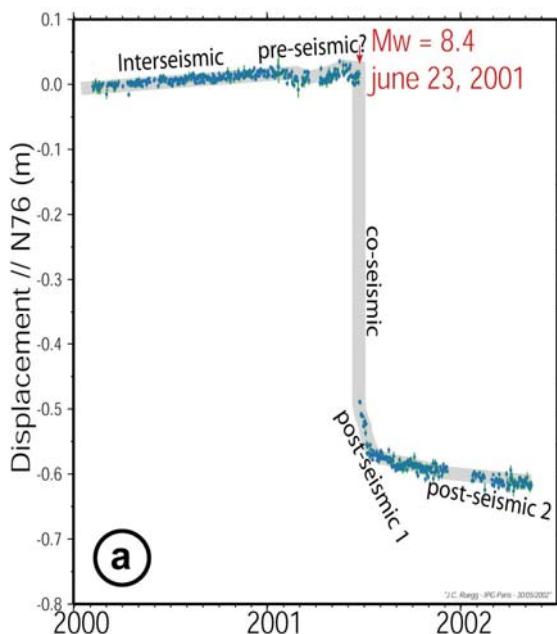
Cicerone *et al.* (2009) ont compilé 12 mesures d'inclinaison pour 9 séismes, 5 mesures de déformation pour 2 séismes et 3 mesures de changement de déformation pour un séisme. Les événements avaient des magnitudes de 3 à 7.1 et la plupart des mesures ont été faites à des distances inférieures à 100 km de l'épicentre sur des périodes allant de plusieurs mois à plusieurs jours. Il semble dans cette étude que les observations de plus grande déformation précédant un séisme correspondaient aux plus grands événements.



*Figure 5 - Accumulation de la déformation pré-sismique observée sur une image représentant une moyenne de 20 interférogrammes déroulés (DeMichele et al., 2008).*

Ruegg et al. (2001) ont observé sur une station GPS dans la ville d'Arequipa l'évolution de la déformation du sol avant, pendant et après le grand séisme de subduction du Sud Pérou du 23 juin 2001 ( $M_w=8.4$ ). En particulier, il met en évidence la présence d'un signal précédent le choc principal de 6 mois (Figure 6). Ce signal consiste en des fluctuations sur les courbes de déplacement en fonction du temps qui durent jusqu'à la survenue du séisme principal. Ce phénomène peut être expliqué par un glissement asismique sur la zone de faille ayant rompu en juin 2001, mais plus profond et qui montre l'existence d'une longue phase de nucléation de la rupture. Un glissement comme celui observé au Pérou en 2001 peut évoluer jusqu'à favoriser la rupture ou, comme dans le cas des épisodes de séismes lents se « contenter » de modifier l'état de contrainte autour du plan de faille (Dragert et al., 2001). L'augmentation du nombre d'observations rendue possible par la croissance actuelle du nombre de stations installées pourrait permettre d'observer de plus en plus de phénomènes similaires.

L'une des zones sismogènes les mieux instrumentées, au niveau de Parkfield, le long de la faille de San Andreas a permis de mesurer la déformation pré-sismique attendue. D'après Bakun et al. (2005), le moment équivalent libéré serait de l'ordre de 10 000 fois moins du moment sismique attendu : la recherche de signaux de déformation précurseurs est difficile.



*Figure 6 - Déplacement absolu d'une station GPS dans la ville d'Arequipa au Sud du Pérou où s'est produit un violent séisme le 23 juin 2001 ( $M_w=8.4$ ). Il est possible de distinguer différentes phases du cycle sismique, parmi lesquelles une phase pré-sismique de quelques mois (Ruegg et al., 2001)*

#### *Phénomènes physiques et modèles liés à la préparation de la rupture*

Des phénomènes précurseurs observés dans diverses régions peuvent être expliqués par des modèles physiques. Le modèle de « dilatance » pourrait expliquer ces phénomènes à l'échelle microscopique : lors de la charge du système, des fissures apparaissent et la rigidité de la roche décroît. Au fur et à mesure que la pression augmente, les fissures se concentrent avant la rupture. Ce modèle a été proposé à partir d'études de fracturation d'échantillons de roche. Les roches ne sont pas des solides homogènes et leurs défauts permettent l'apparition de fissures avant la rupture de la faille. Les hétérogénéités des roches pourraient ainsi permettre de détecter les phénomènes préparant les grandes ruptures. En effet, un tel phénomène est associé en laboratoire aussi bien à la survenue de petits chocs, à l'accélération de la déformation, à la diminution de la vitesse des ondes ralenties par l'apparition de nouvelles fissures. Ces observations de laboratoire ont des analogues avant de grands séismes. Par ailleurs, si l'on considère l'influence de l'eau au niveau de ces fractures, de nombreux effets pourraient en découler : des variations de la résistivité des roches, l'apparition et le transport du radon, des perturbations du niveau et de la géochimie des aquifères.

Des observations ont ainsi été faites montrant une diminution suivie d'une augmentation du rapport  $V_p/V_s$  avant un séisme. Par exemple, Sobolev et Slavina (1977) ont observé qu'en Kamchatka, des variations du rapport  $V_p/V_s$  sont observées

sur une centaine de kilomètres 4 ans avant un séisme de magnitude 7. Le Ravalec (1996) a utilisé le modèle de dilatance pour expliquer ces observations. La complexité de la prise en compte d'hétérogénéités à différentes échelles permet d'expliquer le peu d'observations de changements précurseurs de vitesse des ondes sismiques avant un grand séisme. En effet, les variations prédictes sont faibles s'il y a peu d'hétérogénéité de saturation.

Un autre modèle pourrait expliquer certaines observations comme la survenue de petits séismes au voisinage d'une future rupture ou les perturbations liées à des phénomènes de circulation d'eau : des mesures de laboratoire montrent ainsi la présence d'un glissement lent entre deux blocs en contact chargés avant la rupture brutale. C'est le modèle de frottement. Le comportement des failles est décrit par les lois de frottement. Les observations de laboratoire et les modèles théoriques indiquent que la nucléation d'un séisme est accompagnée par des intervalles d'augmentation de glissement. Il est possible qu'un glissement asismique « prémonitoire » puisse précéder les séismes.

#### *Diverses observations de variations du signal sismologique*

Ihmlé et Jordan (1994) ont observé que certains séismes ont montré un signal précurseur basse fréquence avant le signal plus haute fréquence de la rupture principale.

Manshour *et al.* (2009) ont réalisé des analyses stochastiques de la vitesse verticale  $Vz(t)$ . Ils ont mis en évidence le fait que  $Vz(t)$  fluctue et a un comportement particulier entre 5 et 10h avant un séisme important.

Les variations temporelles de la durée de la coda ont parfois été associées à un phénomène précurseur. Sato (1988) l'explique par la dispersion dans une phase d'accumulation des contraintes, moment où de nouvelles fissures se forment se réouvrent, s'agrandissent, interagissent et subissent d'éventuels mouvements d'eau.

#### *Séismes précurseurs*

Certains séismes sont précédés de quelques heures, jours ou semaines par des événements plus petits : des précurseurs (« foreshocks »). Reasenberg (1999) a réalisé une compilation des « foreshocks » recensés. Il analyse les séismes de magnitude supérieure à 6 entre 1977 et 1996 et montre que 13,2 % ont eu au moins un précurseur « foreshock » de magnitude supérieure à 5 dans un intervalle de 10 jours avant le choc principal et 75 km de l'épicentre. Il semble que la plupart de ces séismes « précurseurs » se produisent dans le même intervalle de temps que d'autres phénomènes précurseurs non sismiques (émission de radon, changements du niveau de l'eau, émissions électromagnétiques). Scholtz (1990) a suggéré que les séismes précurseurs sont vraisemblablement associés au processus de nucléation qui aboutit au choc principal. Ils semblent se produire à proximité du futur hypocentre et sont de plus en plus fréquents au fur et à mesure que le temps de rupture approche. Une déformation pré-sismique comme décrite précédemment peut être associée à une libération d'énergie sismique. Ripepe *et al.* (2000) ont détaillé la séquence de séisme

d'Umbria-Marche en 1997 avec le modèle de dilatance : la présence de fluide a induit une diminution de Vp/Vs et l'augmentation de la contrainte effective sur la faille ; d'où l'importante activité sismique précurseur qui a pu réduire la friction sur la faille principale. Les séismes précurseurs pourraient donc partir du processus de nucléation des séismes. Les « foreshocks » représentent des précurseurs à court terme, mais il est difficile de les identifier comme tels (Lin, 2009). Ils sont en général identifiés et étudiés *a posteriori* et ne se produisent pas systématiquement.

#### *Essaims sismiques « clustering » et prévision des répliques*

Les séismes précurseurs peuvent représenter une manifestation du comportement en essaim des séismes (ou « earthquake clustering ») qui pourrait augmenter la probabilité de survenue de tous les séismes, dont un éventuel grand tremblement de terre. D'un autre côté, l'augmentation d'un glissement sur la faille pourrait favoriser la survenue de séisme précurseur (Dieterich et Kilgore, 1996). L'ensemble des phénomènes mentionnés ici ne sont pas indépendants.

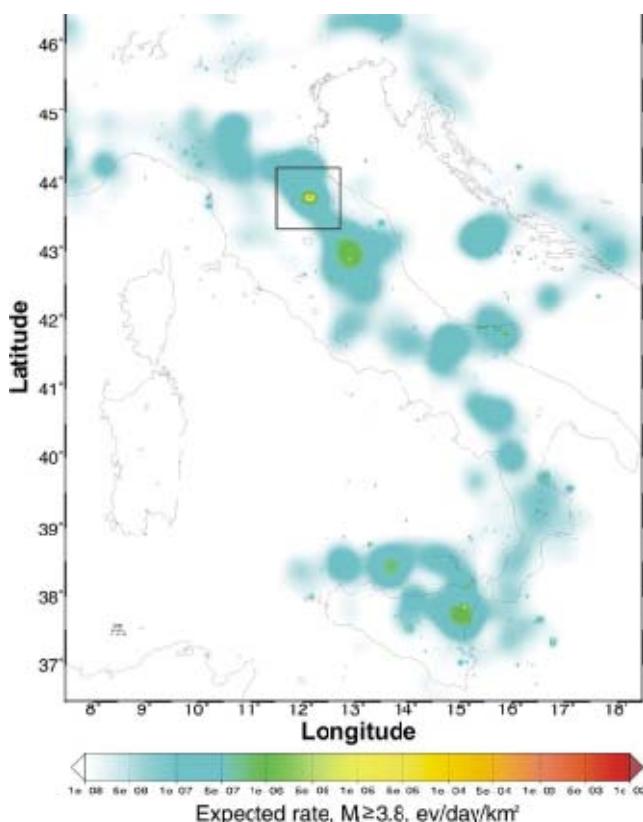


Figure 7 - Carte en temps réel générée sur l'ensemble de l'Italie toutes les 5 minutes à partir de la sismicité ( $M>2.4$ ) - (Murru et al., 2009).

Les phénomènes de déclenchement « triggering » ou interaction entre séismes impliquent une augmentation transitoire locale de la probabilité d'occurrence de futurs événements comme les répliques ou des séismes importants induits. Il peut être

difficile de distinguer différents types de séismes : précurseur, réplique ou séismes induits.

Malgré les difficultés de trouver des précurseurs fiables, l'activité sismique est de mieux en mieux connue grâce à une certaine compréhension du comportement en essaim (« clustering »). Les séismes interagissent entre eux et des modèles basés sur une bonne compréhension du « clustering » permettent de créer des cartes de prévisions en temps quasi-réel mises à jour régulièrement. Elles décrivent la probabilité et le nombre d'événements qui sont susceptibles de survenir après un choc principal. Cela a été implémenté en Californie (Gerstenberger *et al.*, 2005), en Italie (Murru *et al.*, 2009), en particulier dans le contexte de la crise de l'Aquila en 2009 (Figure 7).

### **3.3.2. Fiabilité de la méthode**

Une grande partie de la recherche sur la prévision des séismes est empirique. Après un grand séisme, toutes sortes de données de tous types sont compilées rétrospectivement dans l'espoir de trouver un signal précurseur. De telles observations *a posteriori* nécessitent un contrôle scientifique rigoureux et un regard non biaisé par les résultats attendus. Se pose également le problème du bruit. Certains signaux très faibles peuvent être confondus à un bruit complexe. En outre, comme les séismes sont liés (« clustered ») dans le temps et l'espace, il est possible d'obtenir des niveaux de corrélation statistique ne correspondant à aucune réalité si l'on ne prend pas soin de creuser le problème de la définition de l'hypothèse nulle (ou de la « normale »). En clair, il faut bien caractériser le niveau moyen de la sismicité, le « bruit » sismique en quelque sorte avant de pouvoir identifier un éventuel niveau anormal de sismicité.

Cependant, il semble que l'on observe une certaine influence des modèles physiques proposés ou des observations faites sur l'aléa sismique. Malgré tout, aucune des études mentionnées ici n'a montré l'existence d'un précurseur déterministe fiable.

La prise en compte de phénomènes précurseurs pour une meilleure connaissance de l'aléa sismique passe d'abord par une meilleure connaissance des processus de sismogénèse. Une bonne théorie de la source sismique dans un milieu complexe, hétérogène, avec des conditions initiales réalistes et une prise en compte d'interactions complexes et non linéaires entre les failles n'existe pas encore. L'étude et l'observation des failles apporteront certainement des éclairages dans les prochaines années. Pour mieux comprendre à quelle phase de la sismogénèse une faille se trouve, il faut avoir une vision claire de l'ensemble du processus étayée par un grand nombre d'observations.

Il est difficile d'affirmer que la prédiction à court terme pourrait être possible de manière fiable. En revanche, de meilleures prévisions à moyen terme de l'aléa, les prévisions statistiques de probabilité de survenue des répliques, la sismologie « temps réel » pourraient bénéficier de certaines observations avérées comme précurseurs dans le cadre d'une meilleure connaissance de la physique de la génération de la rupture sismique. En particulier, l'objectif de l'étude des phénomènes transitoires et l'observation accrue de données proches de la faille permettront vraisemblablement de

mieux comprendre comment un séisme se prépare avant de pouvoir peut-être un jour aboutir à des prévisions.

Même si la communauté scientifique était capable de définir où et quand un séisme d'une certaine magnitude pourrait avoir lieu, il resterait à appréhender la manière dont la rupture s'initierait et se propagerait : différents scénarios de rupture sur une faille peuvent avoir des conséquences très différentes.

### 3.4. THERMOMÉTRIE

#### 3.4.1. Principe de la méthode

##### *Phénoménologie*

Des élévations de température dans le sol et l'air ambiant ont été observées peu avant certains séismes dont Loma Prieta (M7.1, 1989), Izu-Oshima-Kinkai (M7, 1978), Miyagi-Ken-Oki (M7.4, 1978), Kamchatka (M7.1, 1992 ; M7.5, 1993 ; M7, 1996, et M7.8, 1997, Figure 8), Gujarat (M7.8, 2001). De même de tels précurseurs ont été notés avant le séisme de Wenchuan (M8, 12/05/2008, in Wei *et al.*, 2008 et 2009). Plus tôt, Liu *et al.*, (1999) rapportent une élévation anormale de la température de l'atmosphère avant les séismes de Beijing (M8, 02/09/1679) et Nangxia (M8.6, 16/12/1920).

Des élévations du flux de chaleur latente ont été reportées pour les séismes de Gujarat (M7.8, 2001, Figure 9), Taiwan (M7.7, 1999) et Mexico (M7.3, 2003).

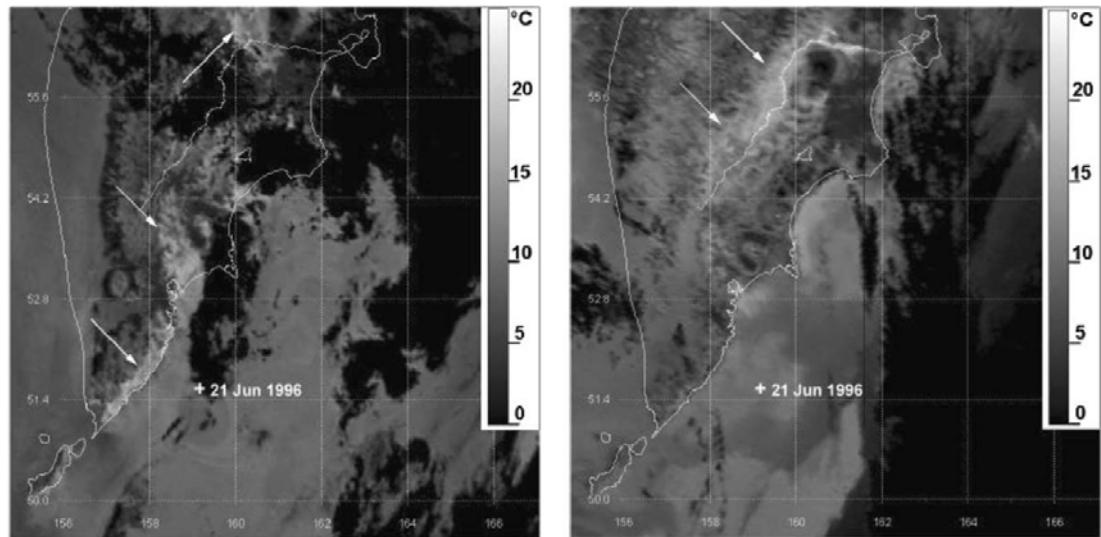
Rezapour *et al.*, (2008) signalent, en plus de ces phénomènes, des variations de la diffusivité thermique du sol précédent des séismes d'amplitude > 4 dans la région d'Alborz.

L'étude des phénomènes précurseurs thermiques n'a été abordée avec intérêt que depuis les années 80, du fait du peu de données et de l'incertitude sur la confusion possible avec des phénomènes purement météorologiques. Il y a encore à l'heure actuelle relativement peu d'articles et des mesures thermométriques doivent à l'avenir être faites afin d'avoir des bases de données suffisamment fournies<sup>4</sup>.

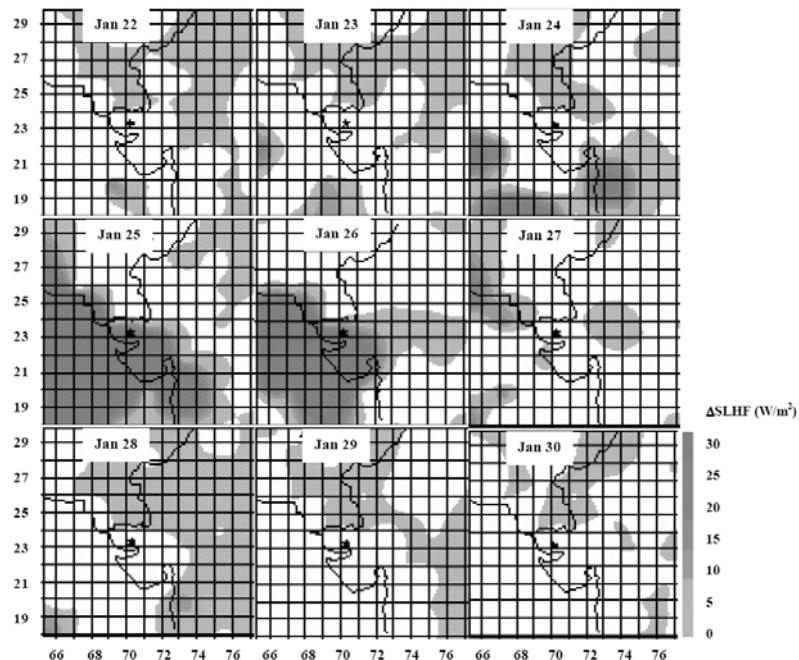
Cicerone (2009) remarque que la majorité des cas recensés dans son étude (15 observations) s'est déroulée en Grèce et au Japon, i.e. dans des régions de subduction avec circulation de fluides géothermaux et des volcans actifs.

---

<sup>4</sup> Notons que dans les exemples fournis sur les figures 8 et 9, l'épicentre est soit loin des anomalies thermiques constatées, soit dans l'emprise d'une zone tellement vaste, qu'on peut se poser la question de la validité d'une telle corrélation avec ces anomalies thermiques.



*Figure 8 - Images du séisme du Kamchatka (M7, 21/06/1996,) prises par le satellite NOAA, montrant les anomalies thermiques interprétées comme telles par Tronin et al. (2004). Gauche : 17/06/1996, 16:11:12 GMT ; droite : 22/06/1996, 16:57:28 GMT ; flèches : anomalies thermiques ; croix : épicentre du 21/06/1996.*



*Figure 9 - Distribution spatiale des anomalies de flux de chaleur latente de surface (surface latent heat flux) dans la région de Gujarat, le séisme ayant eu lieu le 26 janvier 2001. (Dey et Singh 2003)*

## Modèles et paramètres

- Modèles

L'action des jeux de failles et les frictions de roches occasionnées constituent des sources de chaleur. Pour permettre au flux de chaleur d'atteindre la surface, deux vecteurs peuvent être envisagés :

- diffusion de chaleur par les roches. Il s'agirait là d'un mécanisme lent car la conductivité thermique des roches est relativement lente et de ce fait, les variations de chaleur générées en profondeur parviendraient lentement et localement à la surface. Ce mécanisme est notamment souligné par Wang *et al.* (1998) ;
- élévation du niveau des nappes et transport de la chaleur par convection avec le flux hydraulique. Ce mécanisme serait plus plausible que le précédent car plus efficace et rapide. L'eau circulerait dans les pores élargis ou engendrés par la dilatation précédant le séisme à l'intérieur de roches profondes et chaudes et l'eau arrivant en surface communiquerait la chaleur acquise par ce processus.

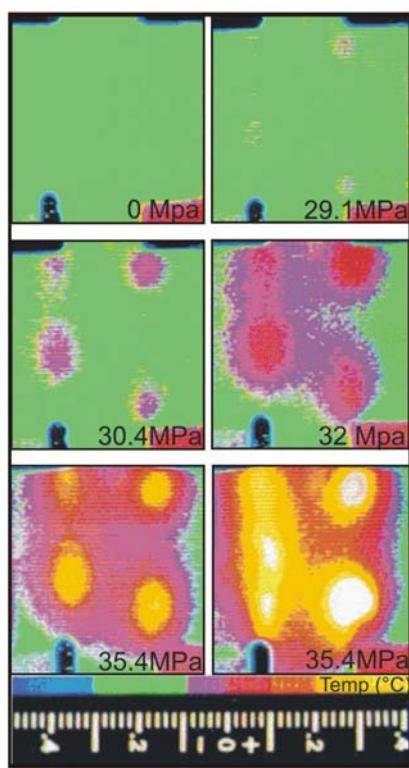
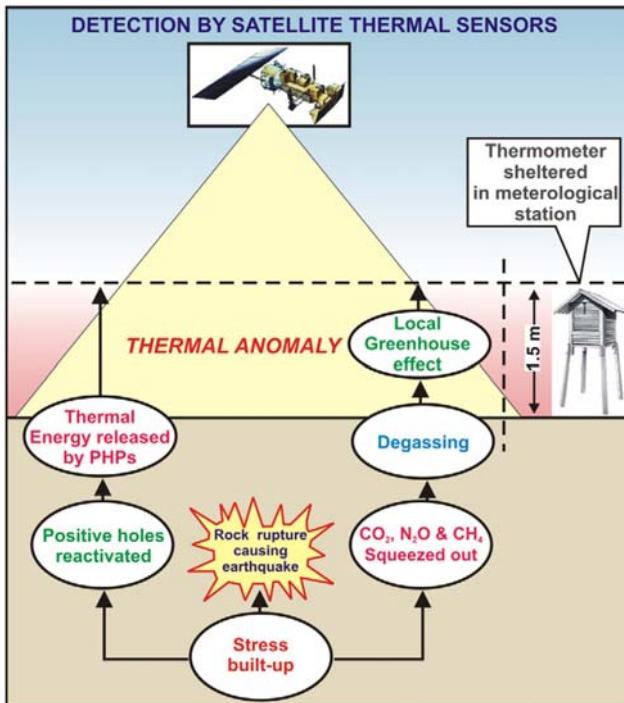


Figure 10 - Essai sur un échantillon de gabbro montrant la variation d'infrarouge thermique émis en fonction des contraintes. La contrainte horizontale est maintenue à 50MPa tandis que la contrainte verticale varie de 0 à 35.4 MPa (Saraf *et al.*, 2009).

Dey et Singh (2003) émettent l'hypothèse que l'accumulation de contraintes provoque des émissions infrarouges thermiques, conduisant à l'augmentation du flux de chaleur

latente. Des expériences (Figure 10) ont été menées et des observations d'augmentation du rayonnement infrarouge de roches mises sous contraintes ont été faites. Les variations de l'humidité du sol dues aux variations du niveau des eaux modifieraient également les propriétés physiques du sol (Tronin *et al.*, 2004a, 2004b).

Au niveau atmosphérique immédiatement au-dessus du sol, plusieurs auteurs (par exemple Tronin *et al.* (2004) ; Choudhury *et al.*, 2006 ; Qiang *et al.*, 1997) émettent l'hypothèse que, s'échappant vers l'atmosphère, les gaz à effet de serre dont le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et la vapeur d'eau absorbent les radiations IR et réchauffent ainsi la surface et l'atmosphère par un effet de serre local (Figure 11).



*Figure 11 - Schéma montrant deux théories couramment acceptées de génération d'anomalie d'infrarouge thermique précédant un séisme et détectable par des capteurs thermiques embarqués sur satellites. PHP : positive holes pairs - paires de sites de déficience en électron dans le modèle proposé par Saraf *et al.* (2009)*

Freund *et al.* (2002, 2003, 2005, 2007) cités par Saraf *et al.* (2009) proposent un mécanisme de génération de rayonnement infrarouge thermique basé sur la propagation de charges suivant la Figure 12. Les PHP (positive hole pairs) créés par la liaison de deux O<sup>-</sup> (au lieu de O<sup>2-</sup>) seraient présents naturellement dans les roches ignées et métamorphiques suite à l'incorporation de H<sub>2</sub>O dans les minéraux. Les PHP se dissocient sous les variations de contraintes précédant les séismes, conduisant à la formation de courant, d'émission électromagnétique atteignant la surface. La recombinaison des positive holes accumulés à la surface provoque alors une émission d'infrarouge.

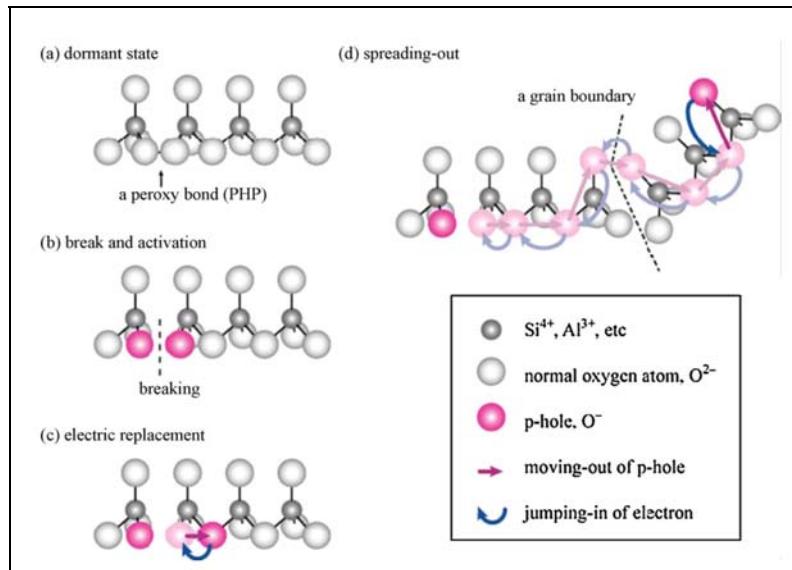


Figure 12 - Théorie des p-holes (positive holes) et propagation de charges selon Freund et al. (2002, 2003, 2005, 2007) cité par Saraf et al. (2009).

### • Paramètres

Parmi les paramètres intervenant dans les différents modèles et susceptibles d'influencer l'amplitude des anomalies thermiques on peut citer :

- la profondeur des roches avec lesquelles l'eau entre en contact suite aux phénomènes pré-sismiques alors qu'il y avait absence de communication auparavant ;
- la température de ces roches ;
- la conductivité thermique initiale des roches et l'ampleur de ses variations ;
- l'humidité du sol et l'ampleur de ses variations ;
- la porosité des roches et l'ampleur de ses variations ;
- la vitesse du flux hydrologique ;
- la proportion de p-holes initialement présents dans les roches profondes.

### 3.4.2. Exemples d'application

#### **Dispositifs**

Des capteurs de température dans les puits, le sol, l'atmosphère permettent de mesurer les variations de température, mais plus efficaces (à condition d'avoir une bonne fréquence temporelle de mesure) sont les capteurs thermiques infrarouges embarqués à bord de satellites comme, par exemple, l'Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) embarqué dans le système de satellites américains de la

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), ou les capteurs de Meteosat. Cette technique a notamment été initiée par les Russes dans les années 60 et est utilisée comme source de données par la plupart des études actuelles sur les précurseurs thermométriques.

### Quelques cas recensés

Le Tableau 1 récapitule l'étude de Cicerone et al., (2009) concernant les séismes ayant été précédés d'anomalies thermiques. Les variations de température sont de l'ordre de quelques degrés à une douzaine, la localisation est très variable, la zone affectée pouvant être dans un périmètre de quelques centaines de kms, la durée précédent le séisme varie entre la cosismicité et une semaine/dix jours. D'autres études de séismes ont fait l'objet du même type de constatations avec des ordres de grandeurs similaires : Kamchatka (M7.1, 1992 ; M7.5, 1993 ; M7, 1996 ; et M7.8, 1997) *in* Tronin et al., 2004 ; Gujarat (M7.8, 2001), Taiwan (M7.7, 1999), Mexico (M7.3, 2003) *in* Dey et Singh, 2003 ; Gujarat (M7.8, 2001) *in* Genzano et al., 2007 ; Izmit (M7.8, 1999) *in* Tramutoli et al., 2005.

Reported precursory temperature changes associated with earthquakes.

Earthquakes with reported temperature-variation precursors							
Earthquake	Mag.	Date	Precursor time	Anomaly [ $^{\circ}$ C] <sup>a</sup>	Ambient temp before eq [ $^{\circ}$ C]	Dist. from epicenter [km]	Notes
Thessaloniki, Greece	4.8	10/20/1998	2 days	0.2	16.6	33	From well data
Thessaloniki, Greece	4.8	10/20/1998	5 days	0.7	15.5	41	From well data
Thessaloniki, Greece	4.8	10/20/1998	Coseismic	0.7	17.6	41	From well data
Thessaloniki, Greece	4.8	10/20/1998	Coseismic	0.5	19.8	41	From well data
Bay of Patras, Greece	5.4	7/14/1993	12 h	6	17	1.5	From sea bed (20 m below surface, 10 m above sea bed, 650 m from shore)
Kawazu, Japan	5.4	1976	Not reported <sup>b</sup>	0.3	60	28	From hot springs data
Izu-Oshima-Kinkai, Japan	7	1978	10 days	1.3	59.5	31	From hot springs data
Miyagi-Ken-Oki, Japan	7.4	1978	Not reported <sup>b</sup>	0.6	60	470	From hot springs data
Ito-Oki, Japan	5.4	1978	Not reported <sup>b</sup>	1.2	59.8	16	From hot springs data
Ito-Oki (swarm), Japan	3.8	1979	Not reported <sup>b</sup>	0.5	59.3	10	From hot springs data
Izu-Hanto-Toho-Oki, Japan	6.7	1980	3 days	1.75	59	16	From hot springs data
Ito-Oki, Japan	3.7	1981	Not reported <sup>b</sup>	0.5	59.5	11	From hot springs data
Sagami Bay, Japan	5.7	Aug-82	Coseismic	1	59.7	46	From hot springs data
Ito-Oki, Japan	2.3	Jul-82	Coseismic	0.7	59.4	6	From hot springs data
Ibaraki-Ken-Oki, Japan	7	Jul-82	Coseismic	0.6	59	290	From hot springs data
Datong, China	6.1	10/18/1989	2 days	2-4 avg., 5-6 max.	10	£ 200	Thermal infrared satellite (Meteosat)
Oroville, California	5.8	8/1/1975	1 day	>100 min	50 min	<200	Old Faithful Geyser, Calistoga, California (eruption interval data)
Morgan Hill, California	6.1	4/24/1984	1 day	25 and 50 min (bimodal signal)	40 min	<200	Old Faithful Geyser, Calistoga, California (eruption interval data)
Loma Prieta, California	7.1	10/18/1989	60 h	172 min	90 ± 2 min	180	Old Faithful Geyser, Calistoga, California (eruption interval data)

<sup>a</sup> Positive, unless otherwise indicated.

<sup>b</sup> It is inferred from the paper that these precursors are on the order of a couple months, but it is not clearly stated.

*Tableau 1 - Données compilées par Cicerone et al., (2009) concernant les anomalies thermiques). Sont incluses des données de variation de températures d'eaux. Pour le séisme de Datong (1989) signalé par £, le domaine d'anomalie est presque linéaire (quelques dizaines de kms de largeur et quelques centaines de kms de longueur)*

### 3.4.3. Fiabilité de la méthode

Il est encore difficile de se prononcer sur la fiabilité de la méthode étant donné que l'étude des anomalies thermiques est encore peu développée. Il n'y a pas eu d'annonce de séisme réussie ou ratée à partir de données thermométriques. Dans le futur, l'acquisition de données, notamment grâce à l'utilisation plus fréquente des données satellitaires, permettrait d'enrichir les bases de données existantes.

D'autre part, une partie des recherches actuelles consiste en l'amélioration du traitement des données afin de mieux discriminer les anomalies thermiques. Des méthodes d'analyse robuste des séries de données satellitaires (Robust Satellite data Analysis Technique, RAT) sont proposées par Tramutoli *et al.* (2005), Genzano *et al.* (2007) et Aliano *et al.* (2008) afin de mieux évaluer la réalité de l'anomalie thermique au niveau du sol par rapport aux fluctuations naturelles dues par exemple à la météorologie, et également aux fluctuations liées à l'acquisition des données... Les méthodes proposées sont prometteuses, d'après les auteurs. Genzano *et al.* ne parviennent cependant pas avec leur technique d'analyse robuste à identifier d'anomalies pour les faibles séismes (magnitude inférieure à M5). Toujours d'après les mêmes auteurs, cette méthode d'analyse a déjà été transposée avec succès à d'autres risques environnementaux (risque volcanique, détection d'incendies de forêts...).

### 3.5. HYDROGÉOCHIMIE

#### 3.5.1. Principe

Dans cette partie, nous traiterons principalement des aspects suivants :

- méthodes physiques : mesure du niveau de l'eau, de la température de l'eau, du pH, de la conductivité électrique, du débit ;
- mesure des éléments (majeurs et traces) dissous dans l'eau : Na, Ca, K, Mg, Cl, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, silice, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, Cu, Zn, Mn, Cr, Fe, U, F, Br, I, Hg, Ba, Ra ;
- mesure des gaz dissous dans l'eau : hélium, CO<sub>2</sub>, radon, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ;
- mesure des rapports isotopiques : <sup>3/4</sup>He, <sup>13/12</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>13/12</sup>CH<sub>4</sub>, <sup>2</sup>H/<sup>1</sup>H (D/H), <sup>18/16</sup>O, <sup>234/238</sup>U.

Certains de ces paramètres (débit, chimie de l'eau) sont rapportés historiquement depuis plus de 2 siècles (Esposito *et al.*, 2001).

#### 3.5.2. Exemples d'application

Les suivis de hauteur d'eau en forage sont pratiqués dans de nombreux pays, soit seuls, soit couplés à des mesures de température de l'eau, de teneurs en gaz ou en éléments dissous... Étant donné le caractère ponctuel d'un forage par rapport aux aires affectées par les ruptures sismiques, il convient toutefois de signaler que toutes les études convergent vers le résultat suivant : toutes les stations de suivi ne « voient » pas d'anomalies et quand celles-ci sont détectées, les apparitions des phénomènes (hausse de niveau, augmentation de température par exemple) ne sont ni synchrones ni de même amplitude, la disposition et les propriétés des discontinuités entre la zone focale et la zone de monitoring jouant un rôle prépondérant.

Ainsi, Asteriadis et Livieratos (1989) signalent des hausses de niveau d'eau de 5 à 10 cm entre 1 et 5 jours avant un séisme de M 4,8 en Grèce en 1988, contemporaines

de hausses de 0,2 à 0,7 °C de la température des eaux. Dans le Vogtland (Allemagne / République Tchèque), pour des séismes de  $M < 4$ , des augmentations de débit (+ 30 à 40 %) et de température (maximum + 1,5 °C) de sources minérales sont également notées (Stejskal *et al.*, 2008), tout comme au Japon ( $\pm 2$  °C ; Figure 13 ; Mogi *et al.*, 1989), notamment avant le séisme de Kobe pourtant survenu dans une année à faible pluviométrie (Wakita, 1996). Des hausses de 50 cm du niveau d'eau sont également rapportées le long de la faille de San Andreas, 4 heures avant un séisme de M 5,5 (Merifield et Lamar, 1981). Les amplitudes peuvent toutefois être très variables dans une même région : Roeloffs et Quilty (1997) rapportent des hausses maximales de 3 cm en Californie 3 jours avant un séisme de M 6,1. Un séisme de M 5,8 au Japon est lui précédé d'une diminution des niveaux d'eau dans des forages proches d'une exploitation minière, sans que les effets combinés des marées terrestres et des variations de pression barométrique puissent expliquer ces variations. Cet apparent antagonisme (hausse/baisse de niveau) peut même être caractérisé pour un seul et même événement sismique, mettant bien en évidence la grande dépendance à la structure géologique des paramètres étudiés (Igarashi *et al.*, 1992).

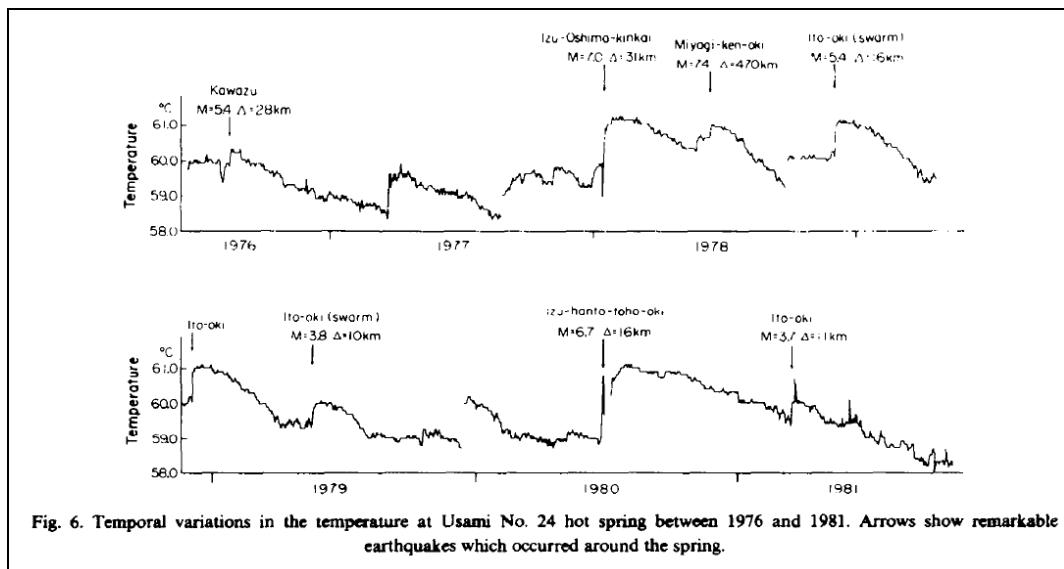
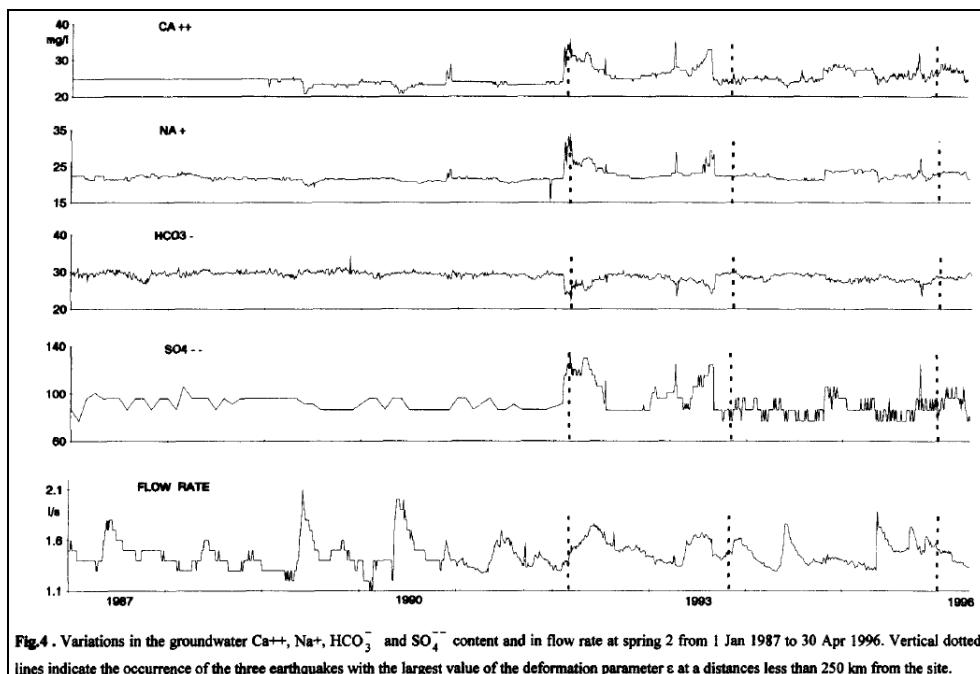


Figure 13 – Variations temporelles de la température de la source chaude n° 24 à Usami entre 1976 et 1981. Les flèches indiquent les séismes remarquables ayant eu lieu dans la région des sources (Mogi *et al.*, 1989).

Cependant, dans certains cas, il n'est pas possible de mettre en évidence des effets précurseurs, même lorsque les magnitudes sont similaires à celles de séismes signalés par des effets précurseurs. C'est le constat auquel sont arrivés Areshidze *et al.* (1992a, 1992b) : ces auteurs définissent une zone affectée par des réajustements de contraintes d'un rayon de 150 km pour le séisme de Paravani en 1986, de 250 km pour celui de Spitak en 1988, mais sont dans l'impossibilité de définir une telle zone pour le séisme du Caucase de 1991. Le modèle de réajustement de contraintes élaboré par Dobrovolsky *et al.* (1979) peut donc être pris en défaut. Néanmoins, il semble que les séismes de  $M > 6$  permettent, conjointement à des variations de niveau d'eau, d'observer, à des distances de plusieurs centaines de km des épicentres, des

anomalies en radon et mercure dissous (Guangcai *et al.*, 2005 ; Huang *et al.*, 2004). Oki et Hirage (1988) posent le même constat au Japon : un séisme de M 5 engendre des anomalies jusqu'à 40 km de la future zone de rupture, ces effets débutant 6 jours avant ladite rupture ; un M 6 jusqu'à 115 km et 26 jours avant ; un M 7 jusqu'à 330 km et 115 jours avant. De plus, les meilleurs puits à suivre pour quantifier des changements de niveau sont ceux connaissant une variabilité saisonnière inférieure à 50 cm et sans relation immédiate à la pluviométrie.



**Fig.4 . Variations in the groundwater  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  content and in flow rate at spring 2 from 1 Jan 1987 to 30 Apr 1996. Vertical dotted lines indicate the occurrence of the three earthquakes with the largest value of the deformation parameter s at distances less than 250 km from the site.**

*Figure 14 – Variations de la composition en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  et du débit de la source 2 du 1<sup>er</sup> janvier 1987 au 30 avril 1996. Les lignes pointillées verticales indiquent l'occurrence de 3 séismes associés au plus grand paramètre de déformation à des distances inférieures à 250 km du site (Bella *et al.*, 1998).*

Les anomalies de teneurs en éléments chimiques, elles aussi reliées aux variations de contraintes en profondeur et à leurs effets sur les déplacements des fluides, peuvent être notées sur des durées plus grandes que les changements de hauteur d'eau. Bella *et al.* (1998) identifient dans le Kamchatka, pour des séismes de  $M > 6,5$ , des changements de teneurs entre 20 et 90 jours avant les séismes, et perdurant entre 60 et 120 jours (Figure 14). Des durées assez voisines sont signalées par Biagi *et al.* (2001) dans la même zone, les traitements appliqués à leurs jeux de données leur indiquant des temps maximaux entre genèse d'un précurseur et séisme de 75 jours, pour des distances maximales de 115 km. En Sicile, pour des séismes de  $M 5,3$  à  $5,6$ , Favara *et al.* (2001) notent des diminutions de teneur en Na, Cl et  $\text{SO}_4^{2-}$  préalablement aux séismes, synchrones d'élévations de température marquées ( $31$  à  $41$  °C), puis admettent des teneurs élevées après le séisme. Une situation totalement opposée est relevée pour ces mêmes éléments par Italiano *et al.* (2005) dans les Apennins, où  $\text{HCO}_3^-$ , Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca, Mg, K, Na, Fe et  $\text{SO}_4^{2-}$  connaissent des augmentations de teneur dans les 3 mois précédent des séismes de magnitude similaire. Des augmentations

importantes des teneurs en  $\text{SO}_4$  ( $\times 5$ ) sont également notées 2 mois avant des séismes au Mexique (De La Cruz-Reyna *et al.*, 1989), sans toutefois que Cl, F, Ca, Na, K,  $\text{SiO}_2$  voient leurs teneurs significativement modifiées. Toutefois, toujours au Mexique, dans une étude plus récente sur des séismes de  $M_{\text{max}} 5,3$ , Taran *et al.* (2005) ne décelent pas d'anomalies en Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\delta\text{D}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  de type précurseur. Pour la Turquie, la faille Nord-Anatolienne semble être plus à même d'être suivie par les éléments Cl, Ca et tritium, qui apparaissent comme les plus sensibles dans cette zone (Güleç *et al.*, 2005 ; Süer *et al.*, 2008).

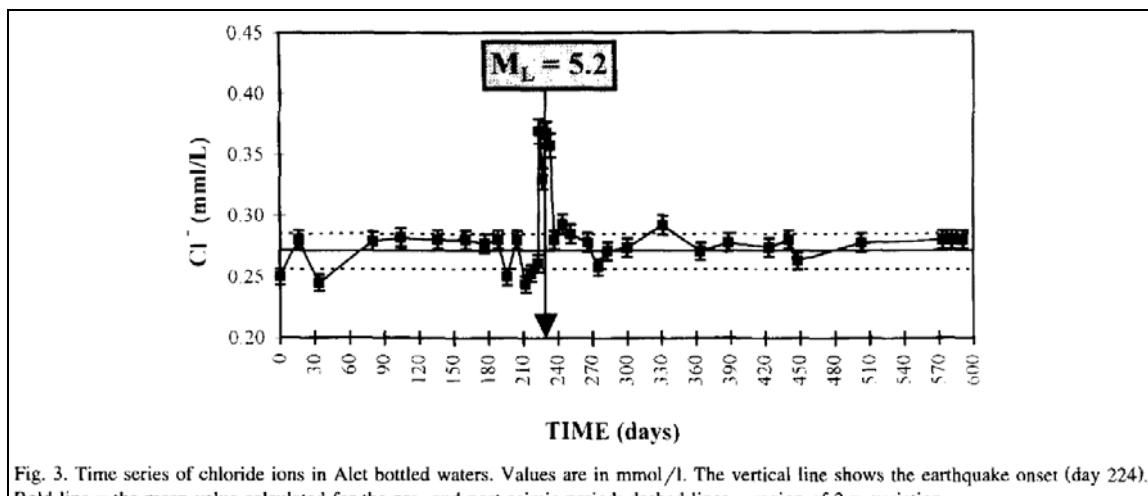


Fig. 3. Time series of chloride ions in Alet bottled waters. Values are in mmol/l. The vertical line shows the earthquake onset (day 224). Bold line = the mean value calculated for the pre- and post-seismic period; dashed lines = region of  $2\sigma$  variation.

*Figure 15 – Série temporelle de la composition en ion chlore dans les eaux en bouteille Alet. Les valeurs sont en mmol/l. La flèche verticale (jour 224) indique le moment du séisme de St Paul de Fenouillet, 18/02/1996 ( $M_L = 5,2$ ). La ligne continue en gras représente la valeur moyenne calculée sur la période pré- et post- sismique ; les lignes pointillées sont les régions des variations à  $2\sigma$  (Toutain *et al.*, 1997)*

Pour certains éléments (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr), les variabilités décelées dans l'apparition de phénomènes précurseurs (précession de 1 à 10 semaines) peuvent être expliquées par une différence des taux de dissolution dans la région source, des retards le long des chemins de migration, l'ajout ou la soustraction de traceur par précipitation et mélange ; telle est l'hypothèse proposée par Claesson *et al.* (2004) dans le cas d'un séisme de  $M 5,8$  en Islande. Il est intéressant également de signaler que les études sur les éléments dissous peuvent se faire sur des eaux en bouteilles. Un bel exemple est celui du séisme de St Paul de Fenouillet (Figure 15), caractérisé par l'apparition d'une anomalie en Cl 5 jours avant le séisme (+ 36 %) et perdurant 13 jours (Toutain *et al.*, 1997), conjointe à une augmentation des teneurs en Zn ( $\times 4$ ) et en Pb ( $\times 10$ , avec modification du rapport isotopique ; Poitrasson *et al.*, 1998). Ces anomalies résultent du mélange de 2 aquifères et suggèrent l'existence d'ondes de contrainte centrifuges se propageant depuis la zone épicentrale. Ces ondes permettraient une libération des gaz piégés, la réouverture de failles et le mélange d'eau en raison de changement de charge hydraulique à distance croissante de l'épicentre, à mesure que la date de rupture approche (Poitrasson *et al.*, 1999 ; Figure 16). Des constats similaires sur Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$  ont été relevés pour des eaux embouteillées à Taïwan, et montrent des anomalies préalables à l'occurrence du séisme de Chi-Chi (Song *et al.*, 2003).

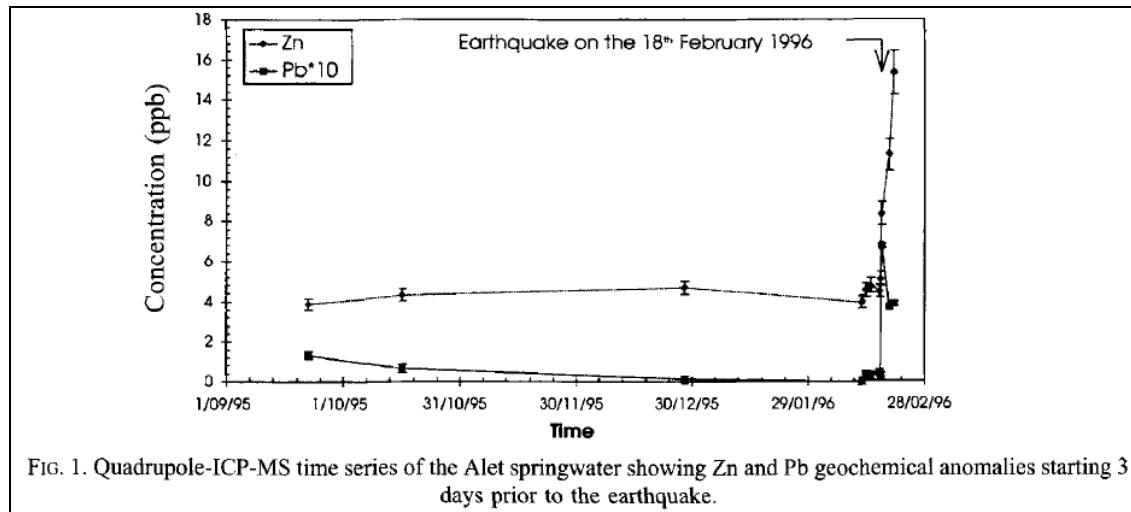


FIG. 1. Quadrupole-ICP-MS time series of the Alet springwater showing Zn and Pb geochemical anomalies starting 3 days prior to the earthquake.

Figure 16 – Série temporelle Quadrupole ICP-MS montrant des anomalies de la composition en Zn et Pb de la source d'Alet commençant 3 jours avant le séisme (Poitrasson *et al.*, 1998).

Le caractère non ubiquiste de la détection d'effet précurseur est également noté pour les études s'attachant aux gaz dissous. Par exemple, dans le Kamchatka, Biagi *et al.* (1999) n'ont pas décelé d'anomalie en argon et azote pour des séismes en 1992 et 1996, mais ont mis en évidence une anomalie précédant un autre séisme en 1996. De manière surprenante, 1996 n'a pas été marquée par des anomalies en ions, alors que 1992 et 1993 l'avaient été. Pour ces auteurs, ce constat n'est pas témoin d'interconnexions entre aquifères (pas d'anomalies de débit) mais plutôt le résultat d'un processus de micro-fracturation permettant la libération de fluides.

### 3.5.3. Fiabilité

La très relative fiabilité des mesures géochimiques dans la recherche d'effets précurseurs est sous-jacente aux conclusions des études les plus récentes. Castellana et Biagi (2008) soulignent la nécessité de construire des modèles capables de détecter des précurseurs sismiques à partir de séries géochimiques temporelles et de donner une estimation du nombre de fausses détections. Pour ces auteurs, les meilleurs ions à suivre (les plus discriminants) sont  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , puis viennent ensuite le débit et le suivi de  $\text{CH}_4$ . Très récemment, Plastino *et al.* (2009), étudiant les possibles effets précurseurs du séisme de l'Aquila, ont détecté des anomalies de type spike dans leur chronique de données uranium, environ 1 mois avant le séisme, mais sans relation avec des évolutions de pH ou de conductivité électrique, alors que les débits d'une source située dans un tunnel d'observation ont été manifestement perturbés. Il apparaît, dans le cas des gros séismes ( $M > 7$ ), que les anomalies de court terme sont les plus importantes pour la prédition des séismes : le séisme d'Haichen ( $M 7,3$ ) a vu le spike majeur en radon dissous seulement 1,5 heure avant le séisme (Jiang *et al.*, 1981). Suivant la géologie du site, les effets les plus significatifs sont donc à rechercher dans les heures et les jours précédant la rupture (Allemagne : Heinicke & Koch, 2000 ; Koch & Heinicke, 1999 ; Chine : Huixin & Zuhuang, 1983).

Toutefois, même des séismes importants ( $M 7,9$ ) peuvent ne pas être signalés par des effets précurseurs, à l'image de l'étude de Gupta et Deshpande (2003) qui attribuent les variations de teneur en solides dissous à un mélange entre aquifère non relié à un épisode sismique. À l'inverse, des séismes faibles ( $M_{\max} 3,7$ ) peuvent être marqués par des augmentations de teneur en gaz dissous ( $\text{CO}_2$ ) attribuées à l'apparition d'un flux gazeux brusque au sein d'un aquifère (Cioni *et al.*, 2007).

Tout comme il sera vu pour les émissions gazeuses, l'intérêt est grand pour réaliser des mesures en continu afin d'espérer déceler des effets précurseurs, pouvant apparaître seulement quelques jours avant l'évènement. Dès 1981, Merifield et Lamar posaient ce constat, les puits les plus propices à enregistrer des variations étant ceux qui présentent la plus grande sensibilité aux marées terrestres.

### **3.6. ÉMISSION DE GAZ**

#### **3.6.1. Principe de la méthode**

Dans cette partie, nous traiterons exclusivement de la mesure des gaz libres (dans les sols, dans les eaux ou en atmosphère libre) : radon, He,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ .

Certains auteurs (Biagi *et al.*, 2000b, 2000c) sont assez peu favorables à la recherche d'anomalie des contenus en gaz des eaux, les traitements du signal employés pour la caractérisation d'anomalies précurseurs possibles renvoyant plus fréquemment des fausses identifications que les traitements appliqués aux mesures de contenus en ions (cf. paragraphe 2.5). Néanmoins, ces mêmes auteurs mettent en évidence pour chacune de ces méthodes un caractère très complexe dans la relation séisme – précurseur, et indiquent que les effets sur les gaz leur semblent être plus fréquemment présents dans le cas de séismes de faible profondeur épicentrale.

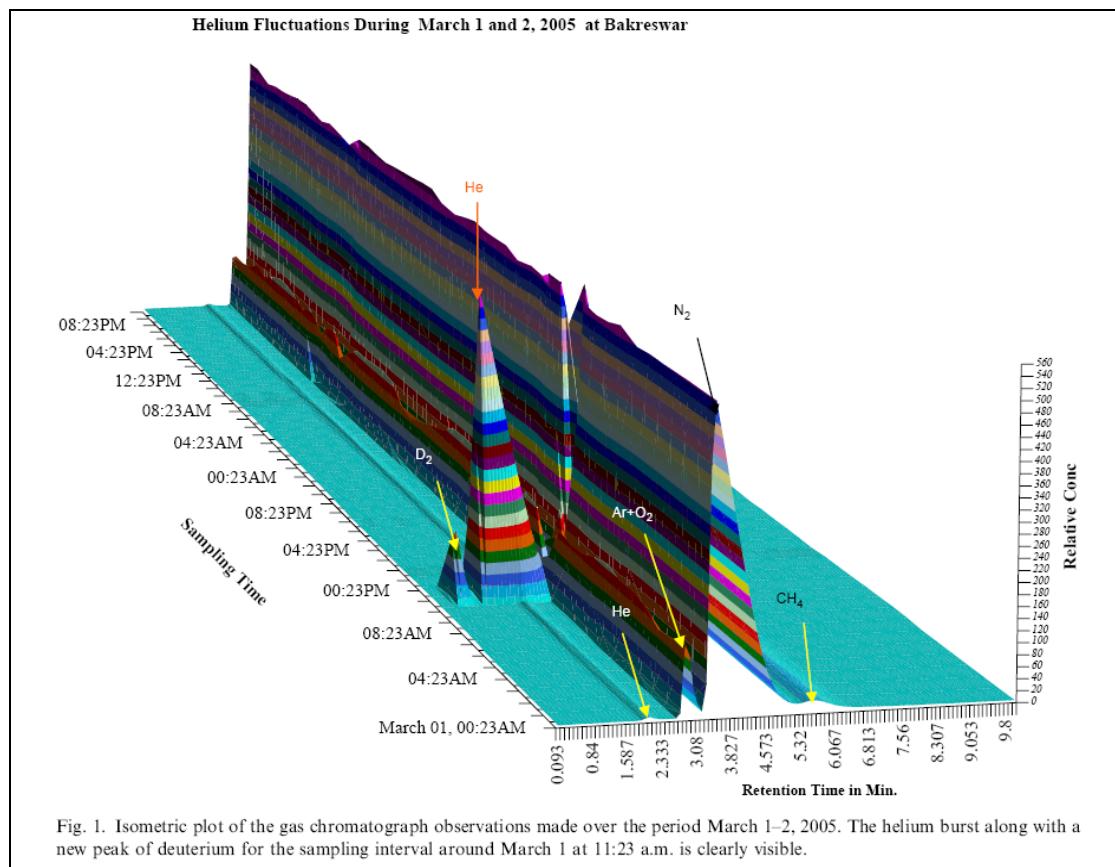
#### **3.6.2. Exemples d'application**

La difficulté à déterminer un paramètre clef admettant de manière claire des variations de teneur ou d'abondance avant la survenue d'un séisme, abordée dans les études hydrochimiques, est également valable pour les études sur les gaz.

Abordant la caractérisation isotopique de l'hélium sur des phases gazeuses à  $\text{CO}_2$  dominant (indication du degré de mélange entre fluides cristallins et fluides mantelliques), Italiano *et al.* (2001) relèvent la difficulté d'interprétation des anomalies géochimiques et préfèrent les caractériser en tant qu'indicateurs de processus (variation de perméabilité, déformations...) qui ne sont pas forcément reliés à des séismes imminents.

À l'inverse, d'autres auteurs rapportent des augmentations de 1,4 à 61,6 % vol. dans le Bengale (Das *et al.*, 2006 ; Figure 17), ces pulses d'hélium gazeux pouvant être témoins de séismes majeurs (Sumatra  $M 8,7$ ). Cependant, comme abordé dans la partie hydrogéochimie, certains séismes peuvent être devancés non plus par des hausses de teneurs en hélium, mais par des diminutions : ce cas est relevé pour 80 %

des séismes de  $M > 4$  étudiés par Reimer (1984) aux USA, la précession allant de 1,5 à 6,5 semaines.



*Figure 17 – Suivi des observations d'analyse isométrique effectuée le 1<sup>er</sup> et 2 mars 2005. Le pic d'hélium est mis en relation avec les séismes du 28/03/2005, M~8.7 au large de Sumatra (Das et al., 2006).*

Cette relation émission gazeuse – magnitude est également rapportée au Japon (Kawabe, 1984), où des variations de rapport  $\text{CH}_4/\text{Ar}$  pouvant aller jusqu'à plus de 100 % sont rapportées pour des séismes de  $M > 4,1$ , seuil d'activation d'anomalie précurseur défini par l'auteur. Des études ultérieures ont également mis en évidence l'intérêt du suivi des teneurs en He,  $\text{CH}_4$  et Ar (Sugisaki et al., 1996). L'étude des rapports entre espèces gazeuses apparaît également bien adaptée dans le cas du rapport  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ , en permettant de minimiser d'éventuelles contaminations atmosphériques (Yang et al., 2006). Il semble également que ces anomalies de concentration en espèces gazeuses n'apparaissent qu'à la faveur d'événements de magnitude  $> 4$ , des magnitudes inférieures ne mettant pas en évidence de relations nettes (Whitehead et Lyon, 1999).

L'hydrogène gazeux semble également suivre le même comportement, des augmentations (2 ordres de grandeur) corrélées avec l'énergie libérée par le séisme, étant constatées le long de la « ligne tectonique médiane » (Sugisaki, 1985). Un

modèle de dilatance en réponse à la micro-fracturation est compatible avec de telles observations. Au Kamchatka, Firstov et Shirokov (2005) identifient des pulses d'une durée de 1,5 à 6 heures, qui peuvent atteindre jusqu'à 14 fois la teneur moyenne dans les sols, et semblent caractéristiques de séismes de  $M > 5,6$ . Dans ce cas, ces variations sont interprétées comme la réaction des gaz des sols à des « ondes de géodéformation » provoquées par les déformations plastiques se déroulant dans la zone de subduction (Firstov *et al.*, 2007). Au Japon, Satake *et al.*, (1984) notent aussi une relation libération d'hydrogène – séisme de  $M > 3$ , selon des antériorités et des abondances variables d'un point à un autre. En Californie, des variations de plusieurs ordres de grandeur des teneurs en hydrogène sont enregistrées avant des séismes de  $M 5$  à  $6,7$ , dans le mois précédent la rupture (Sato *et al.*, 1986). Ces auteurs proposent le scénario suivant pour la genèse de ces anomalies : l'infiltration d'eau météorique dans la croûte fragile engendre des réactions avec les silicates, qui produisent  $H_2$  et magnétite. L'existence de roches hydratées en profondeur facilite alors les mouvements de type faille transformante, le jeu des forces et contraintes permettant ensuite la remontée progressive des gaz le long des failles.

Enfin, de manière plus épisodique, certains s'attachent à décrire le comportement du mercure dans les gaz des sols. Stakheev *et al.*, (2004) proposent une relation empirique entre l'intensité du futur séisme et l'amplitude du phénomène précurseur, basée sur leurs observations au Tadjikistan : un séisme de  $M3$  entraînerait une hausse d'un facteur 6 du flux de mercure, un  $M4$  de 11 fois,  $M5$  de 23 fois,  $M6$  de 46 fois,  $M7$  de 93 fois et  $M8$  de 182 fois.

### **3.6.3. Cas spécifique du radon**

Parmi les cortèges d'éléments gazeux suivis, le radon est sans doute celui qui est le plus fréquemment étudié. Le radon est considéré comme un indicateur des mouvements crustaux, même si chaque séisme ne déclenche pas d'anomalie et si chaque anomalie n'est pas forcément suivie par un séisme (Al-Hilal *et al.*, 1998). Ainsi, les variations d'activité radon sont provoquées par des changements de contraintes et peuvent donc être relevées même à grande distance des épicentres (modèle de dislocation de Fleischer, 1981 et de Fleischer et Mogro-Campero, 1985). Selon l'hétérogénéité géologique des zones étudiées et l'emplacement des zones de mesure, des mécanismes d'effondrement de pore (pore-collapse), de déformation poro-élastique et de micro-fracturation peuvent également conditionner les mesures (Kharatian *et al.*, 2002)

Des expériences de laboratoire ont permis d'appréhender les phénomènes pouvant se dérouler lors de la genèse d'un séisme (Holub et Brady, 1981). La déformation sous contrainte uniaxiale d'un granite a permis d'identifier les phénomènes suivants :

- 1) diminution de l'émanation durant la mise en charge de l'échantillon (fermeture des cracks existants) ;
- 2) pour une contrainte égale à la moitié de la contrainte totale avant rupture, augmentation temporaire (50 %) de l'émanation corrélée avec l'augmentation du nombre de microcracks ; environ 1 % des atomes de radon présents dans le bloc de granite y participent ;

- 3) relâchement de contrainte pendant plusieurs heures (retour aux conditions initiales) ;
- 4) lors de la rupture, augmentation temporaire de 120 % de l'émanation, puis diminution et stabilisation à un niveau supérieur de 5 % au niveau initial.

Des mesures ultérieures en continu du radon dans les gaz des sols confirment ce processus (Chyi *et al.*, 2002 ; Figure 18) : les variations temporelles du radon montrent une phase de préparation du séisme se traduisant par une hausse rapide du signal, puis une stabilisation à un niveau élevé, suivi d'une anomalie de type spike et enfin, suite au déclenchement du séisme, un retour rapide au bruit de fond moyen.

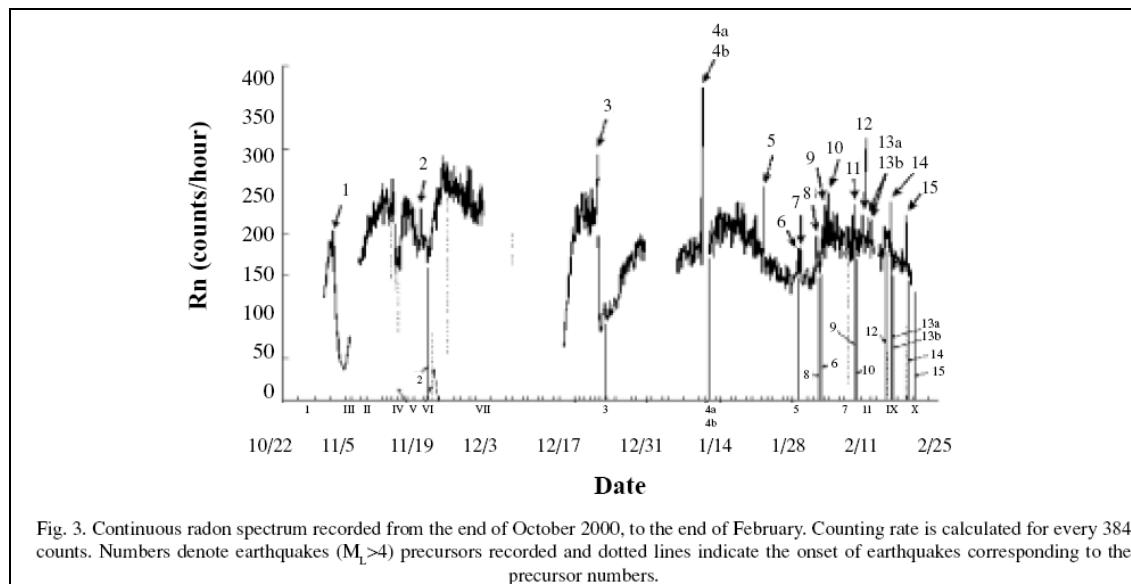


Fig. 3. Continuous radon spectrum recorded from the end of October 2000, to the end of February. Counting rate is calculated for every 384 counts. Numbers denote earthquakes ( $M_L > 4$ ) precursors recorded and dotted lines indicate the onset of earthquakes corresponding to the precursor numbers.

*Figure 18 – Spectre continu du radon enregistré d'octobre 2000 à février 2001. Les chiffres romains le long de l'axe des abscisses indiquent les séismes précurseurs  $M > 4$ . Les lignes pointillées indiquent le début des séismes qui correspondent aux numéros du précurseur radon (nombres au dessus des courbes) (Chyi *et al.*, 2002).*

Un partitionnement du radon entre phase liquide et phase gazeuse, lié à des modifications hydrogéologiques, rentre également en jeu pour expliquer les phases de diminution d'activité en radon (Tsunomori et Kuo, 2009). Par exemple, des mesures de radon dans des eaux géothermales en Islande ont permis d'observer une diminution pré-sismique du radon, 101 – 167 jours avant les séismes, suivie d'une augmentation pré-sismique, 40 à 144 jours avant le séisme (Einarsson *et al.*, 2008).

De plus, le radon et la mesure de son activité sont fonction d'un nombre important de paramètres, qu'il est nécessaire de prendre en compte, notamment : l'émanation elle-même ; les variations diurnes (influence du soleil), et les variations provoquées par la cyclicité diurne/nocturne des concentrations en  $\text{CO}_2$  ; les variations provoquées par la pluie, par les fluctuations de pression atmosphérique et par les mouvements d'air ; enfin les variations reliées à la géodynamique profonde (Charlet *et al.*, 1989 ; Finkelstein *et al.*, 1998 ; King, 1984 ; Mukherji, 1999 ; Richon *et al.*, 2003 ; 2007).

Les études basées sur les évolutions des activités radon sont donc très sensibles à la résolution spatiale et temporelle des mesures. Nombre d'auteurs préfèrent se focaliser sur les études du radon en phase gazeuse, et non en phase dissoute, la première permettant d'exprimer des anomalies d'amplitude plus importante (facteur 20 à 25 : Chung, 1984 ; Planinic *et al.*, 2004 ; jusqu'à 66 fois ; Zhang, 1999). Toutefois, ceci n'interdit pas la détection d'effets précurseurs par les suivis de radon dissous dans l'eau : Kuo *et al.* (2006) notent ainsi à Taïwan une division par plus de 2 des activités radon dans un forage d'eau thermale, 65 à 20 jours avant un séisme de M 6,8 ; Liu *et al.* (1985) constatent des augmentations de 2 à 3 fois la déviation standard 4 à 50 jours avant des ruptures sismiques dans le Nord de Taïwan, pour des distances à l'épicentre inférieures à 50 km.

La meilleure sensibilité des mesures en phase gazeuse est bien caractérisée par Choubey *et al.* (2009 ; Figure 19) sur leur étude en Inde, avec mesures en forage dans la zone saturée et dans l'atmosphère sus-jacente. Si les mesures dans l'eau sont quasi constantes, les mesures dans l'air dépassent plusieurs fois (en positif et en négatif) le seuil d'anomalie fixé à  $\pm 2$  fois la déviation standard, et apparaissent comme reliées à un séisme de M 4,9 se déroulant 20 jours plus tard. Tout en prenant en compte l'impact des variations météorologiques, Das *et al.* (2006), Ghosh *et al.*, (2007) et Ramola *et al.*, (2008) observent également des hausses d'activité radon dans les sols entre 4 et 15 jours avant des séismes de M 2 à 6, pour des distances épicentre – station de mesure allant de 15 à 250 km. Cette coïncidence spatiale et temporelle entre hausse des émanations radon et séismes de M > 4 est rapportée le long de la faille de San Andreas (King, 1980, 1984), en Alaska (Fleischer et Mogro-Campero, 1985), dans la zone sismique de New-Madrid (Steele, 1981, 1984), en Turquie au voisinage de segments de failles actifs (Inan *et al.*, 2008), au Japon (Igarashi *et al.*, 1990 ; Uji *et al.*, 1988) notamment en lien avec le séisme de Kobe (Yasuoka *et al.*, 2006, 2009).

Pour des séismes d'intensité supérieure, les distances à l'épicentre permettant la détection d'une anomalie augmentent : jusqu'à 450 km dans le cas d'un M 7 (Virk et Singh, 1994, ces auteurs relevant par ailleurs également des hausses supérieures en atmosphère gazeuse qu'en radon dissous). Toutefois, il est fréquemment constaté que l'amplitude du signal radon n'est pas uniquement fonction de la distance à l'épicentre (Flores Humanante *et al.*, 1990), des anomalies fortes pouvant être mesurées jusqu'à 200 km d'un épicentre et être plus réduites à des distances inférieures. Un autre paramètre à prendre en compte est la profondeur de mesure des activités radon pour les études s'attachant aux gaz des sols, les mesures réalisées vers 1 mètre de profondeur apparaissant plus pertinentes (Wattananikorn *et al.*, 1998).

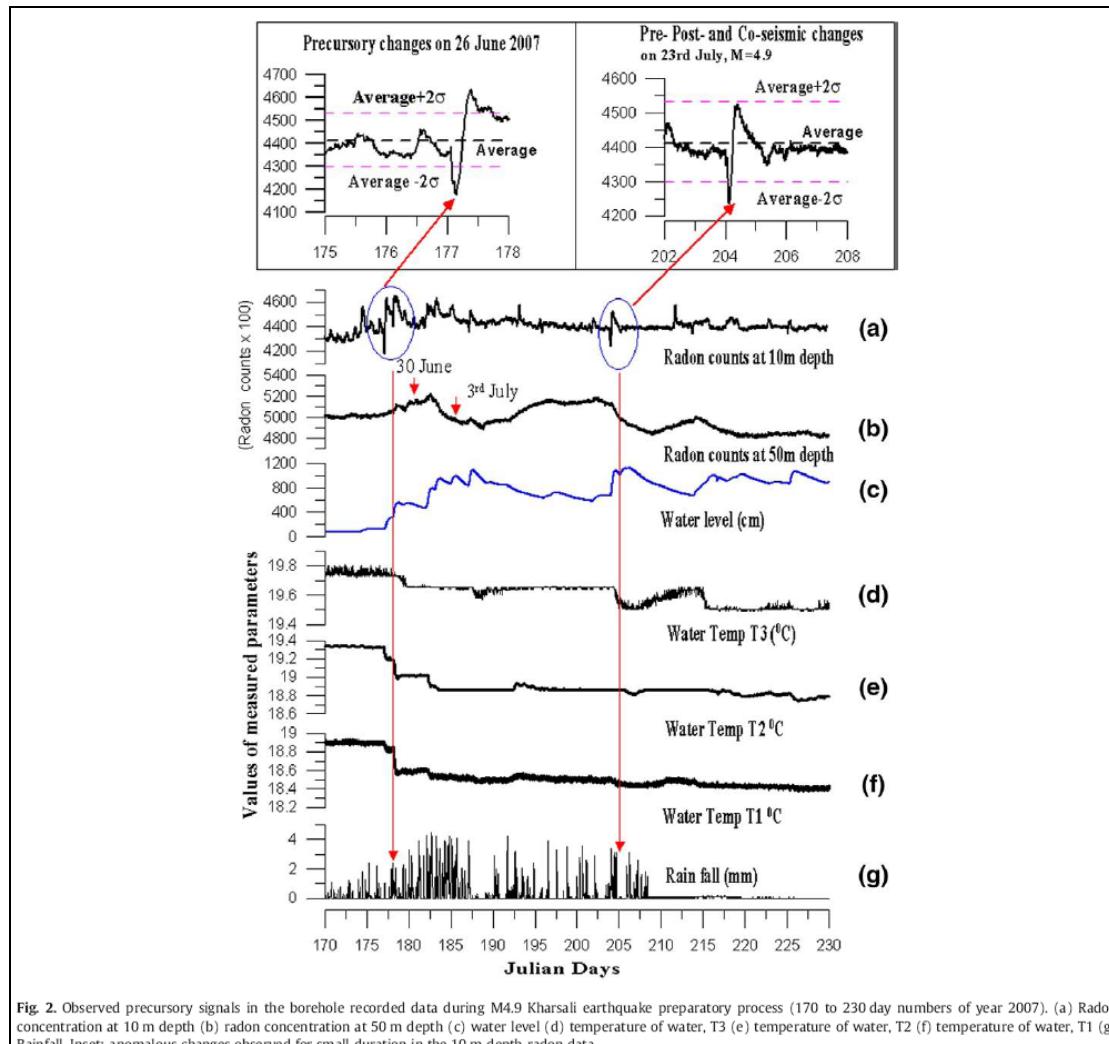


Fig. 2. Observed precursory signals in the borehole recorded data during M4.9 Kharsali earthquake preparatory process (170 to 230 day numbers of year 2007). (a) Radon concentration at 10 m depth (b) radon concentration at 50 m (c) water level (d) temperature of water, T3 (e) temperature of water, T2 (f) temperature of water, T1 (g) Rainfall. Inset: anomalous changes observed for small duration in the 10 m depth radon data.

*Figure 19 – Signaux précurseurs observés (jours 170 à 230 de l’année 2007) dans le forage pendant le processus de préparation du séisme de Kharsal (M=4.9). (a) radon à 10 m de profondeur ; (b) concentration de radon à 50 m (c) niveau piezométrique (d) température de l’eau T3 (e) température de l’eau T2 (f) température de l’eau T1 ; (g) Pluviométrie. Encadrée : détails des changements observés sur des courtes durées à 10 m de profondeur. (Choubey et al., 2009).*

Un raffinement consiste en l'étude couplée du radon avec un autre gaz d'origine profonde, tel l'hélium, le radon ne pouvant – de par sa courte période – migrer depuis des horizons profonds. Virk (1999), Virk et al., (2001) et Virk et Walia (2001) proposent le modèle conceptuel suivant pour des séismes de  $M > 6,5$  :

- 1) conditions normales de contraintes/déformation : le rapport He/Rn dépend des paramètres géologiques et climatiques, il est quasi constant pour une géologie et une météorologie donnée ;
- 2) augmentation de contrainte : augmentation du rapport, l'hélium profond étant affecté le premier et voyant son flux augmenter ;

- 3) quand la contrainte est proche du seuil de rupture élastique, l'émanation de radon est renforcée dans les roches de proche surface sous l'effet de l'augmentation des contraintes ; ceci est un signal d'alarme d'imminence d'un séisme.

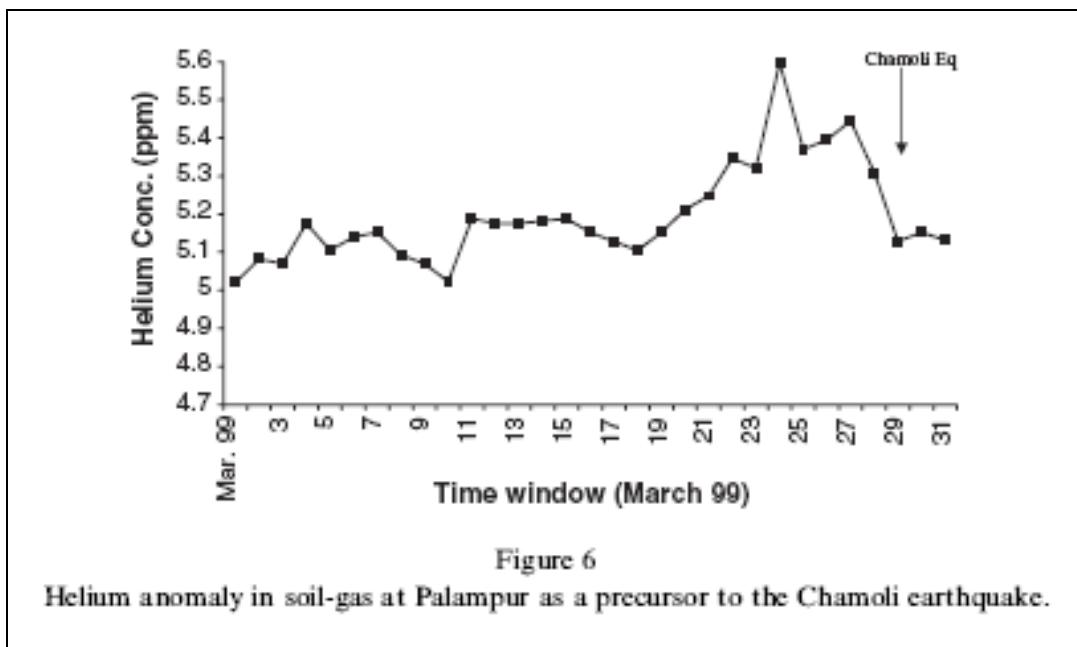


Figure 6  
Helium anomaly in soil-gas at Palampur as a precursor to the Chamoli earthquake.

Figure 20 – Anomalie en hélium dans le sol à Palampur comme précurseur du séisme de Chamoli.

Appliqué au séisme de Chamoli, Virk *et al.*, (2001) et Walia *et al.*, (2006 ; Figure 20) constatent l'apparition d'une anomalie dans le rapport He/Rn 9 jours avant ce séisme, alors que les anomalies mono-élémentaires apparaissent plus tardivement, 5 jours avant le séisme en hélium et seulement 2 jours avant en radon. Il faut toutefois préciser que la zone d'étude est à 400 km de la zone de rupture. L'hélium est donc affecté par les changements de contraintes avant que le radon ne le soit (effet de sa meilleure mobilité).

Enfin, certains auteurs considèrent, en raison du nombre important de paramètres pouvant modifier les activités en radon (météorologie, hydrologie, cycles solaires...), que l'étude du seul isotope 222 n'est pas suffisante. Elmaghraby et Lotfy (2009) préfèrent ainsi coupler les mesures de l'isotope 222 à celles de l'isotope 219. Le rapport  $^{219}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$  étant quasi constant pour un point donné, il ne doit pas varier en fonction des paramètres externes. De plus, le radon-219 ayant une période très courte, seul le radon-222 doit pouvoir s'échapper des failles et être mesuré en surface. Le rapport 219/222 constitue alors un indicateur complémentaire intéressant signant la présence d'une perturbation au sein de la croûte.

Selon le même principe, d'autres auteurs s'intéressent au couple radon – thoron ( $^{222}\text{Rn} - ^{220}\text{Rn}$ ). Si certains auteurs rapportent des comportements aléatoires (Walia et

*al.*, 2009), d'autres (Yang *et al.*, 2006) rapportent un comportement homogène pour ces deux isotopes, les pics anormaux étant fréquemment synchrones et se produisant entre 1 et 20 jours avant le séisme, dans un rayon de 60 km autour de la zone d'étude. Pour Perez *et al.*, (2007), l'évolution de ce rapport radon-222/radon-220 signe un processus de transport commun pour les 2 gaz lorsqu'il est stable, et indique un changement des conditions de contrainte/déformation quand il augmente.

### 3.6.4. Fiabilité de la méthode

Pour déceler des anomalies gazeuses, il est important de disposer d'un réseau permettant un monitoring automatisé de gaz ( $H_2$ , He, Ar,  $N_2$ ,  $CH_4$ , radon). Sur un forage thermal japonais (Ito *et al.*, 1998), un tel dispositif a permis de mettre en évidence des augmentations pré-séisme des teneurs en  $H_2$  (jusqu'à  $\times 2$ ) décelées aussi bien pour des petits séismes proches ( $M 1,6$ ) que pour des séismes plus forts jusqu'à 25 km de distance, alors que les autres rapports sont quasi constants ( $\pm 4\%$ ). Ces suivis en continu permettraient de surcroit de suivre l'évolution de la sismicité locale, même de faible magnitude ( $M < 2$ ), tout en étant sensible aux effets de certains télé-séismes. Telle est l'hypothèse émise par Weinlich *et al.*, (2006) en regard des résultats de leur système de monitoring automatique des gaz radon et  $CO_2$ , ce dernier gaz étant considéré comme la phase porteuse du radon. Reddy *et al.*, (2004) et Walia *et al.*, (2003) vont même jusqu'à citer une sensibilité aux micro-séismes ( $M < 1$ ). En tout cas, ces systèmes de monitoring en continu du radon paraissent adaptés au suivi des séismes à partir de  $M 2$ , et permettent également de déterminer les variabilités saisonnières naturelles des signaux radon (Garavaglia *et al.*, 1998, 1999 ; Kumar *et al.*, 2009). Notons que cette sensibilité à certains événements de faible magnitude avait déjà été relevée par Shapiro *et al.*, (1980), mais que le rapport entre apparition d'un signal anormal et déclenchement réel d'un séisme peut être inférieur à 50 % (Miklavic *et al.*, 2008). Les développements actuels visent à mieux appréhender le traitement du signal, notamment en recourant à des analyses par arbres de décision et par réseaux neuronaux (Gregoric *et al.*, 2008 ; Torkar *et al.*, 2010; Zmazek *et al.*, 2005), pour systématiser la distinction entre variation causée par des paramètres environnementaux et variation liée à une activité sismique.

Wakita (1996) résume ainsi les principaux résultats obtenus à partir des études faites au Japon : 1) 18 ans d'observation du radon sur un forage indiquent que la variation anormale de radon avant le séisme d'Izu-Oshima en 1978 peut, avec une probabilité élevée, être attribuée à des changements précurseurs ; 2) il existe certains puits sensibles qui ont le potentiel pour détecter des changements précurseurs.

Le caractère aléatoire de la détection d'anomalie précurseur en gaz des sols est rapporté dans de nombreuses études. À Taïwan (Walia *et al.*, 2009), un séisme de  $M 5,5$  permet d'identifier une anomalie en thoron mais pas en radon, alors qu'un  $M 5,3$  déclenché 3 mois après amène au constat inverse, aucun séisme de  $M < 5$  n'engendrant de signaux précurseurs. En Italie, Quattrochi et Calcare (1998) n'identifient pas de précurseur radon pour le séisme de Rome ( $M 3,6-3,8$ ), mais en identifient pour un séisme de moindre magnitude à Tivoli ( $M 3,1$ ), couplé à une hausse du flux de  $CO_2$  (Figure 21) et à l'apparition en teneurs quantifiables de  $H_2S$ ,  $SO_2$  et hydrocarbures dans les sols. Padron *et al.*, (2008) citent même une sensibilité des flux

de CO<sub>2</sub> aux magnitudes proches de 2 entre 9 et 10 jours avant le déclenchement d'un séisme. Enfin, dans un autre contexte géologique (Islande), Hauksson et Goddard (1981) ont également mis en évidence le caractère aléatoire des informations fournies par des mesures du radon dans les eaux géothermales : pour des séismes de M 1 à 4,3 (23 événements), seulement 9 anomalies précurseurs ont été relevées, 48 séismes n'ont pas engendré d'anomalie et 7 observations étaient de fausses alertes. Néanmoins ces auteurs avaient constaté une augmentation de la probabilité d'observer une anomalie radon avant un séisme lorsque celui-ci a une M > 2, notamment par effet d'agrandissement de la zone d'observation de l'anomalie à mesure que la magnitude augmente.

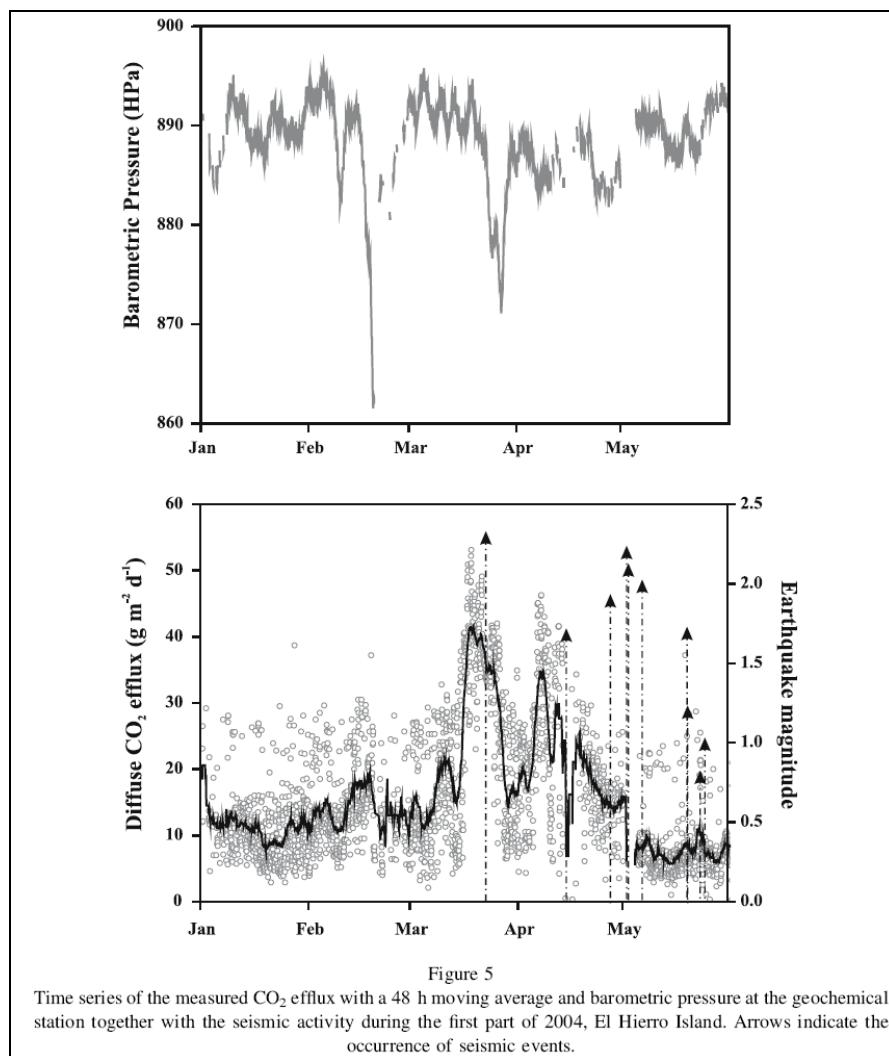


Figure 5  
Time series of the measured CO<sub>2</sub> efflux with a 48 h moving average and barometric pressure at the geochemical station together with the seismic activity during the first part of 2004, El Hierro Island. Arrows indicate the occurrence of seismic events.

*Figure 21 – Série temporelle du flux de CO<sub>2</sub> avec une moyenne glissante sur 48 h et pression barométrique à la station géochimique avec la sismicité enregistrée début 2004, île El Hierro. Les flèches indiquent l'occurrence des séismes (Padron et al., 2008).*

Pour conclure, il reste encore un nombre important de points à examiner/comprendre concernant la genèse et l'occurrence des effets précurseurs de séismes en géochimie. Deux publications récentes (Hartmann et Levy, 2005 ; Ghosh *et al.*, 2009) mettent ainsi l'accent sur la nécessité d'identifier de manière fiable les signaux et les processus tectoniques y conduisant. Une approche standardisée d'analyse nécessite d'être établie, notamment en incluant systématiquement la localisation et le cadre tectonique de la zone d'étude, ainsi que la description des filtrages employés pour le traitement des données, souvent utilisés pour diminuer l'influence de la pression atmosphérique, des marées... En complément, l'emploi de méthodes d'analyse statistique avancées peut constituer une source utile d'information. Tous ces efforts doivent permettre de répondre aux questions fondamentales suivantes :

- quelles sont les différences entre les différents groupes de signaux précurseurs ?
- comment les processus tectoniques influencent-ils la forme d'un signal ?
- les signaux relatifs à des séismes intraplaques sont-ils différents de ceux associés aux régimes de subduction ?
- comment augmenter la fiabilité des modèles reliant la distance épicentrale, la magnitude du séisme et la survenue de phénomènes précurseurs ?

## 3.7. MÉTHODES ÉLECTROMAGNÉTIQUES AU SOL

### 3.7.1. Principe de la méthode

Les variations du champ magnétique (courants électromagnétiques) terrestres induisent des courants électriques telluriques. Ces courants portent des informations sur la structure de la résistivité du terrain qu'ils traversent : les basses fréquences imagent les terrains profonds et les hautes fréquences les terrains superficiels. Les activités humaines génèrent de tels courants issus des usines et des trains. La méthode consiste à enregistrer les champs électriques et/ou magnétiques terrestres en fonction du temps. Les courants électriques sont mesurés à l'aide d'électrodes plantées dans le sol.

L'idée de cette méthode pour les problèmes de détections de précurseurs de séismes part de l'hypothèse que de tels courants sont également générés par la préparation de la rupture associée aux séismes (par exemple Varotsos, 2005). La méthode consiste à surveiller à des stations les signaux sismiques électriques (SES, « Seismic Electric Signals ») en mesurant en continu le courant électrique.

Des variations locales du champ électrique et magnétique ont été rapportées dans de nombreuses bandes de fréquences au moment de séismes (voir Tableau 2). Dans de nombreuses études, il apparaît que les comportements des signaux ne sont statistiquement pas les mêmes selon la bande de fréquence utilisée. Cela va même à la séparation de sous-groupes de fréquences au sein même d'une même bande de fréquence. Par exemple, Dea *et al.*, (1993) indiquent que les signaux sont stationnaires pour les signaux entre 1 et 20 Hz, mais que cela n'est plus vrai pour les fréquences en

dessous de 1 Hz. Au Japon, de nombreuses études rapportent des signaux observés dans plusieurs bandes de fréquences (ex : ELF, VHF, LF et HF, Nagao *et al.*, 2002). Une bonne synthèse est présentée dans l'article de Uyeda *et al.*, (2009). Notons que la définition des limites entre fréquences n'est pas toujours la même entre les auteurs. La bande ELF est parfois regroupée avec la bande ULF (Uyeda *et al.*, 2009).

Des anomalies électriques et magnétiques ont été observées par des instruments placés sur le sol, mais aussi à l'aide d'instruments embarqués dans des satellites (Horie *et al.*, 2007a et b). Ces méthodes spécifiques sont rapportées dans le chapitre sur les méthodes atmosphériques et ionosphériques (§ 3.8).

De plus, des approches expérimentales sont conduites pour tenter de mieux comprendre les processus physiques générateurs des observations (Ogawa *et al.*, 1985 ; Qian *et al.*, 1998).

Méthode	Fréquences	Précurseur : durée avant le séisme	Exemple	Références
DC – VAN (P. Varotsos ; K. Alexopoulos ; K. Numikos) = SES (Seismic Electric Signals)	Continu à 0.01 Hz	Semaines	Chine Tangshan, M7.8, 1976 Songpan, M7.2 Nantong, M4.2, 2001 Grèce Nombreux cas Japon Izu, M3-6, 2000	Mao <i>et al.</i> , 1998 Mao <i>et al.</i> , 1999 Ma <i>et al.</i> , 2004 liste des publications de Varotsos en annexe Uyeda, 2000
ULF « Ultra Low Frequency »	0.01-10 Hz	Semaines	Spitak, M6.9, 1988 Loma Prieta, M7.1 1989 Guam, M8.0, 1993 Hetian, M7.1, 1996 Kagoshima, M6.5, 1997	Kopytenko <i>et al.</i> , 1993 Fraser-Smith <i>et al.</i> , 1990 Hayakawa <i>et al.</i> , 1996 Du <i>et al.</i> , 2002 Hattori <i>et al.</i> , 2002
ELF « Extremely Frequency »	Low 0.01 à 32 kHz 3 Hz - 3 kHz	Jours	Kobe, M7.2, 1995	Maeda & Tomisaka, 1996 Dea <i>et al.</i> , 1993
VLF « Very Low frequency »	3 - 30 kHz	Heures	Japan, M6.1 ; M5.3	Gohkberg <i>et al.</i> , 1982 Biagi <i>et al.</i> , 2004
LF « Low Frequency »	30-300 kHz	Heures		Horie <i>et al.</i> , 2007a et b
MF « Medium Frequency »	0.3-3 MHz	Heures	Tokachi-Oki, M8.0, 2003	Maeda & Tomisaka, 1996
HF « High Frequency » (Very HF, Ultra HF)	3-30 MHz 30-300 MHz 300-3000 MHz	Minutes	Kobe, M7.2, 1995 Greece, M>6.0	Maeda & Tomisaka, 1996 Efsakias <i>et al.</i> , 2002

Tableau 2 – Quelques exemples des méthodes électromagnétiques.

### 3.7.2. Exemples d'application

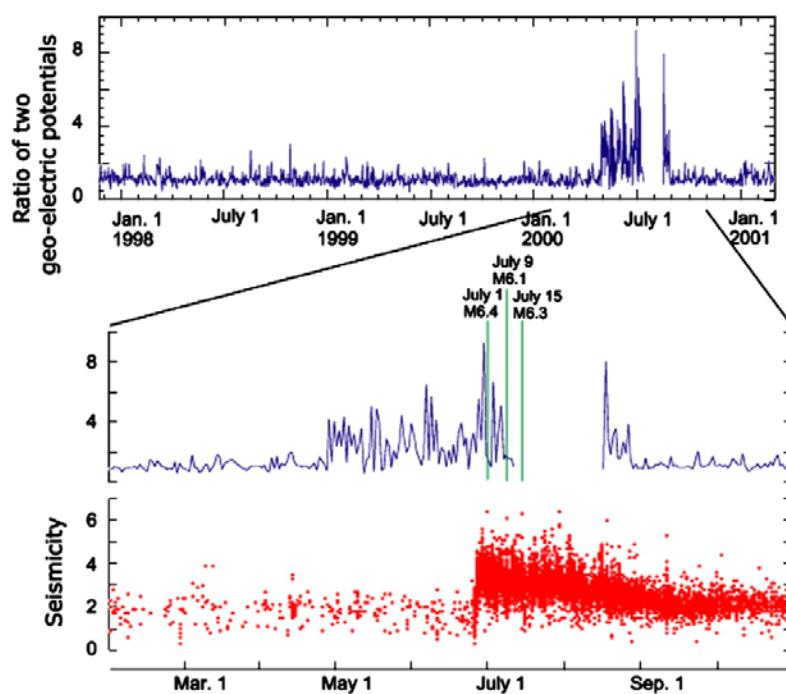
#### **Méthode VAN et signaux continus électromagnétiques ELF/ULF**

La méthode VAN est la première méthode qui vient à l'esprit (en France) lorsque l'on parle de précurseurs de séismes. Elle a été mise au point en Grèce et consiste à observer les variations naturelles de résistivité dans le sous-sol et à relier des

anomalies à des séismes. C'est Haroun Tazieff qui en a fait l'éloge auprès du public français notamment dès le milieu des années 1980. Depuis, elle a été rebaptisée SES (« Seismic Electric Signals »).

De nombreux exemples existent et tentent de relier les SES à des séismes (Bernard *et al.*, 1991 ; Bernard, 1995 ; Bernard *et al.*, 1997a ; 1997b ; Mao *et al.*, 1998 ; Uyeda *et al.*, 2009).

Au cours des deux dernières décennies (1990-2010), un système d'observation couplé VAN et champ magnétique (bande ULF) a été installé au Japon. Malgré le fort niveau de bruit électromagnétique dans cette région (en particulier des trains), l'existence de SES de type VAN et des signaux ULF précurseurs a été observée entre 1992 et 2000 lors d'une quinzaine de séismes de magnitudes comprises entre 4,7 et 6,6 dans toute la zone centrale de Honshu. Dans les années 2000, une série de séismes en essaim (7000 événements de magnitude supérieure à 3 et 5 séismes de magnitude supérieure à 6) s'est produite dans la région de l'île de Izu (Japon). Des perturbations électriques significatives clairement précurseurs ont été enregistrées (Figure 22).



*Figure 22 – Anomalies du potentiel géo-électrique avant l'essaim sismique dans la région de l'île Izu au Japon (Uyeda *et al.*, 2009).*

Les résultats ne sont pas toujours aussi probants, mais de nombreux cas en Indonésie, Japon et Grèce rapportent des signaux perturbés au moment du passage des ondes sismiques. Cependant, les succès de la méthode VAN sont incontestables, parce qu'elle a permis de sauver de nombreuses vies humaines lors de séismes désastreux (Uyeda, 2000).

À la fin des années 1980, les signaux ULF magnétiques ont aussi été rapportés. L'avantage des signaux magnétiques ULF est qu'ils permettent d'imager les zones profondes par rapport aux signaux de plus hautes fréquences. Ils permettent d'atteindre des profondeurs de l'ordre de dizaines de kilomètres à 1 Hz et des centaines de mètres pour 10 kHz.

Un des signaux les plus probants est une variation forte du champ ULF enregistré dans la zone du séisme Loma Prieta (1989), magnitude 7.1, pendant plusieurs heures avant le séisme (Fraser-Smith *et al.*, 1990 ; Bernardi *et al.*, 1991). Ces signaux ont été le départ d'un grand intérêt pour la recherche de précurseurs en domaine électromagnétique. En 1990, un grand projet de surveillance des basses fréquences a été établi à San Diego pour surveiller les engins spatiaux par leur signature électromagnétique LF en Californie, mais a été vite détourné pour l'étude des signaux précurseurs de séismes dans cette région habitée et sismiquement active.

Parmi de nombreux autres exemples, une étude sur 5 séismes en Chine rapporte des signaux électromagnétiques aux fréquences semi-diurnes et semi-mensuelles des marées terrestres (Zhang *et al.*, 2007 ; Han *et al.*, 2009), avec des anomalies d'amplitudes (Kushwah *et al.*, 2009). De plus, des sauts d'amplitude sont rapportés. Des variations du champ magnétique ont été enregistrés, notamment sur les composantes horizontales (Gong *et al.*, 1997 ; 2001) avant des séismes.

### ***Signaux hautes fréquences***

Dans la bande de fréquence LF des ondes radio, Biagi *et al.*, 2004 ont observé une baisse sensible de l'intensité des ondes radio en septembre-novembre 2002 sur les signaux d'antennes situées en Sicile, Italie, alors qu'en même temps des antennes similaires ne détectaient aucune variation en République Tchèque et en France. Au cours des semaines qui suivirent, une série d'événements tectoniques et même volcaniques se produisirent (éruption de l'Etna le 27 octobre ; un séisme de magnitude 5.6 se produisit à 50 km de Palerme et le 3-6 novembre de fortes émissions de gaz ont été observées aux îles éoliennes). L'interprétation la plus probable donnée est un changement de la zone frontière entre le sol et la troposphère. De tels signaux semblables ont été observés précédemment dans la même région (Bella *et al.*, 1998).

Lors du séisme M7.2 de Kobe en 1995, des pics à 22.2 MHz ont été enregistrés par une station à 77 km de l'épicentre, environ pendant quelques dizaines de minutes avant et après le séisme. La puissance dégagée par les émissions électromagnétiques pour ce séisme est estimée à 0.2 W (Maeda & Tomisaka, 1996).

Ces signaux précurseurs se prêtent bien aux analyses statistiques du nombre de pulses en fonction du temps (Yoshino *et al.*, 1993 ; Parrot *et al.*, 1994 ; Hayakawa *et al.*, 1996 ; 1999) et permettent d'apporter des éléments de compréhension des relations entre signaux observés et les séismes.

### 3.7.3. Fiabilité de la méthode

En ce qui concerne les signaux continus (méthode VAN), le problème fondamental pour certains chercheurs est de déterminer si les signaux électriques sismiques existent ou pas (Ruan et Zhao, 2000).

Le fait que les signaux précurseurs ULF, SES ou VAN, soient décalés parfois de quelques semaines conduit à penser que le mécanisme qui génère chaque fréquence n'est pas le même.

Un autre problème concerne les hautes fréquences. En faisant l'hypothèse que les ondes électromagnétiques sont générées à proximité du futur hypocentre, elles subissent l'atténuation dans les roches jusqu'à la surface. Or, l'absorption des roches ne devrait pas leur permettre d'atteindre la surface et d'être enregistrées. Certains auteurs proposent un modèle de « plasmon<sup>5</sup> » pour expliquer la présence de hautes fréquences dans l'air.

Pour contribuer à valider les observations de terrains et proposer des mécanismes de générations, des essais de laboratoires sur des échantillons rocheux sont conduits. Les auteurs étudiés ont testé la possibilité d'émission d'ondes électromagnétiques à partir d'échantillons rocheux de différentes sortes (par exemple Ogawa *et al.*, (1985) utilisent des granites) en effectuant des essais variés. Plusieurs types d'essais sont conduits : essai de compression, en cisaillement ou en torsion (Ogawa *et al.*, 1985 ; Qian *et al.*, 1998). Des antennes de capteurs variés (ex : Gokhberg *et al.*, 1982 ; Qian *et al.*, 1998) utilisent des capteurs sismo acoustiques et électromagnétiques). Les réponses obtenues sont distinguées par leur fréquence, leur ordre d'apparition. Ogawa *et al.*, (1985) au cours d'essais sur des granites distinguent 4 types de signaux (30 kHz ; 5 kHz, 10 Hz et des pulses intermittents).

Des études théoriques basées sur des modèles de rupture des roches proposent des scénarios précédents le choc principal. Par exemple, Morgounov & Malzev (2007) proposent un scénario de nucléation des séismes, basé sur un mécanisme de « slip weakening » et de fracturation multiple. Ils déterminent la distance maximale de détection des précurseurs au moment de la phase finale de déformation anélastique avant la rupture fragile. Cette distance est estimée à près de 10000 km pour le grand séisme du Chili (M9.5).

Le mécanisme électrocinétique est une source possible pour les signaux électriques et la basse fréquence du champ électromagnétique. Mizutani *et al.*, (1976) ont proposé un modèle dans lequel, au moment de la dilatance des fractures avant un séisme, l'eau circule dans les fractures, générant des courants électriques (et un champ magnétique)

---

<sup>5</sup> Dans un métal, un plasmon est une oscillation de plasma quantifiée. Les oscillations de plasma d'un métal peuvent être comprises dans le cadre d'une théorie classique. Si on suppose que les ions sont fixes, et que les électrons peuvent se déplacer en bloc, dans certaines conditions, il existe un excès de charges positives d'un côté du système (supposé de dimension finie) et un excès de charge négative du côté opposé. Ces excès de charges constituent une force de rappel. Cependant, s'il n'y a pas de dissipation, l'énergie mécanique totale étant conservée, le centre de masse des électrons va effectuer des oscillations à une pulsation appelée pulsation plasma (Wikipédia).

par un effet électrocinétique. Fedorov *et al.*, (2001) suggèrent qu'on ne peut détecter des signaux électriques et électromagnétiques dans les bandes ULF que si la limite de déetectabilité est dépassée ; cette limite n'est franchie que dans des configurations exceptionnelles des paramètres crustaux.

Indépendamment des processus classiques d'émissions de courants électromagnétiques, Freund *et al.*, (2006) a proposé un mécanisme unique pour la génération des signaux ULF. Au laboratoire, ils ont découvert qu'une roche soumise sous pression se comportait comme une pile électrique, qui génère son propre courant. L'explication réside dans les niveaux d'énergie des oxygènes contenus dans les anions d'oxygène des roches.

Un des problèmes majeurs de tous ces modèles est qu'ils devraient générer des signaux plus intenses au moment du séisme. Or, les observations contredisent ce constat. L'absence de signaux réellement co-sismiques est un problème non résolu, qui fait intuitivement douter la communauté scientifique sur la réalité de la génération de signaux électriques associés aux séismes.

### **3.8. MÉTHODES ATMOSPHÉRIQUES ET IONOSPHERIQUES**

Deux grands ensembles de phénomènes se déroulant dans l'atmosphère ont été observés en tant que précurseurs de séismes. Il s'agit :

- des phénomènes précurseurs se déroulant dans l'ionosphère impliquant des anomalies de paramètres fondamentaux des plasmas et de transmission d'ondes électromagnétiques ;
- des nuages et éclairs lumineux sismiques.

#### **3.8.1. Principe de la méthode**

##### ***Phénoménologie***

- **Modification des propriétés de l'ionosphère**

##### Définitions

*L'ionosphère* est la section supérieure de l'atmosphère située entre 50 et 400 km d'altitude. Elle se caractérise par les phénomènes d'ionisation provoqués par les radiations solaires incidentes, créant des couches de plasmas. Les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques dépendent des propriétés des plasmas qu'ils traversent, en particulier de la densité d'électrons, qui sont les principaux éléments excités par les ondes.

La constitution de l'ionosphère varie quotidiennement en fonction du rayonnement solaire reçu. Elle est composée (Figure 23), le jour, des couches de plasmas dites :

- « D » (50 à 90 km), caractérisée par l'ionisation de NO et l'absorption des ondes radio HF ;
- « E » située entre 90 et 120 km d'altitude. Elle est caractérisée par l'ionisation de O<sub>2</sub> sous l'action des rayons X et UV (1-10 nm) ;
- « F1 » et « F2 » (120 à 400 km). S'y déroule l'ionisation de O<sub>2</sub> sous l'influence des rayons UV extrêmes (10-100 nm).

La nuit, le taux de recombinaison n'est pas assez rapide pour compenser l'ionisation. L'ionosphère est composée des couches ionisées « E » et « F ».

Une caractéristique importante de l'ionosphère est le *TEC* (*Total Electron Content*), qui mesure la quantité d'électrons rencontrée par une trajectoire (d'onde radio par exemple). Il s'agit de l'intégrale sur le chemin (circuit ouvert) de la densité volumique d'électrons libres. Le TEC est normalisé en  $10^{16}$  e/m<sup>2</sup>.

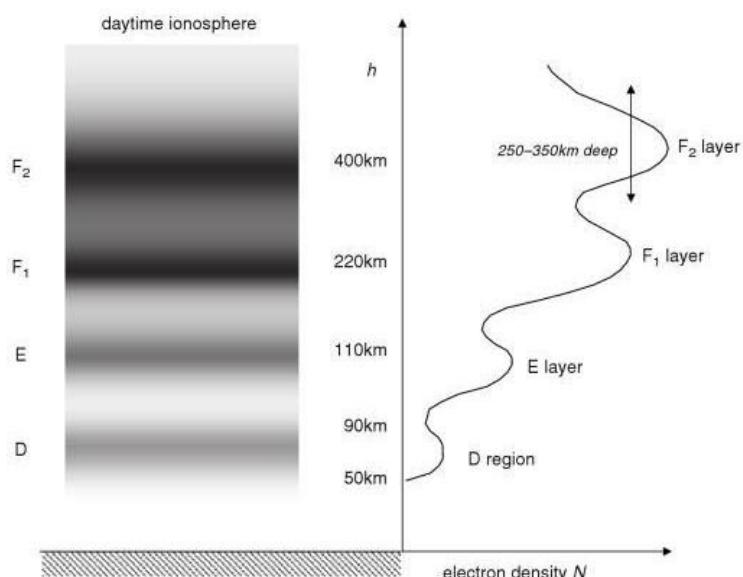
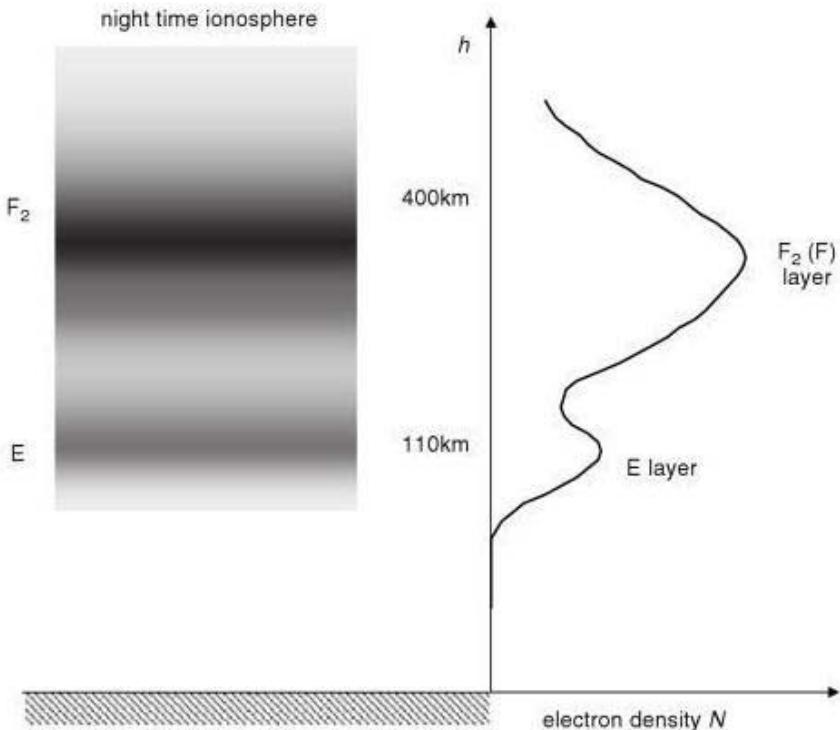
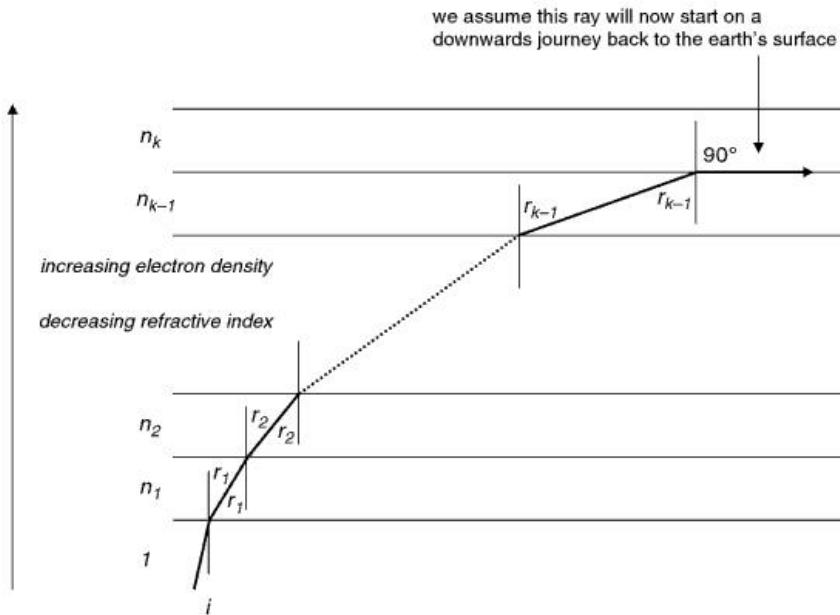


Figure 23 - Distribution typique des couches diurnes de l'ionosphère. Évolution de la densité N d'électrons en fonction de l'altitude. Les zones les plus sombres représentent les densités d'électrons les plus élevées (Richards, 2008).



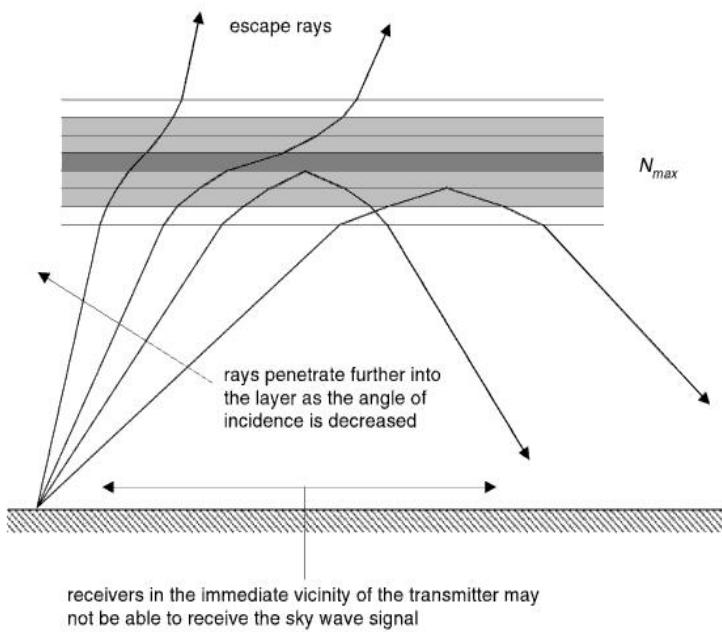
*Figure 24 - Distribution typique des couches nocturnes de l'ionosphère. Évolution de la densité N d'électrons en fonction de l'altitude. Les zones les plus sombres représentent les densités d'électrons les plus élevées (Richards, 2008).*

L'ionosphère est la zone où les ondes électromagnétiques se propagent de manière préférentielle. On définit un indice de réfraction des ondes électromagnétiques en fonction de la densité d'électrons et de la fréquence d'une onde incidente excitant ces électrons. Lorsqu'une onde de fréquence donnée atteint une couche dont l'indice la fait réfracter à 90° la propagation sera horizontale jusqu'à ce qu'une perturbation l'amène à redescendre. Les ondes de certaines fréquences peuvent ainsi être transmises sur de longues distances grâce aux propriétés de l'ionosphère (Figure 23 et Figure 24). Dans la Figure 25, montrant les parcours possibles d'une onde dans l'ionosphère, il est à noter que les récepteurs au voisinage immédiat des transmetteurs peuvent ne pas percevoir le signal.



*Figure 25 - Réfractions progressives (modèle discret de couches de densités croissantes d'électrons et d'indices de réfraction décroissants) d'une onde jusqu'à transmission horizontale.*

*On suppose que le rayon va ensuite entamer un retour vers la surface après transmission horizontale (Richards, 2008).*



*Figure 26 - Chemins possibles pour une onde électromagnétique dans l'ionosphère. De gauche à droite : rayons insuffisamment réfractés par les électrons et s'échappant de l'ionosphère ; rayons suffisamment réfractés pour être transmis horizontalement puis atteindre le sol.*

*(Richards, 2008).*

La *fréquence critique* « fo » d'une couche donnée de l'ionosphère est la fréquence maximale à laquelle une onde électromagnétique parvenant avec une incidence verticale à la couche sera réfractée et retournée vers le sol. La fréquence critique de la couche F2 est importante car au-delà de cette fréquence, une onde d'incidence verticale ne sera pas retournée vers le sol. La Figure 26 montre les parcours possibles d'une onde dans l'ionosphère ; il faut noter que la fréquence critique est définie pour une incidence verticale et qu'une onde de fréquence plus élevée que la fréquence critique peut néanmoins être réfléchie vers le sol si son incidence est faible. Les *ionogrammes*, déterminés par les *ionosondes*, sont réalisés en augmentant la fréquence d'une onde jusqu'à ce qu'elle ne soit plus réfléchie.

L'*altitude virtuelle* d'une couche de l'ionosphère est la distance calculée en notant l'intervalle de temps entre la transmission du signal et la réponse à incidence verticale, en supposant que le rayonnement se propage à la vitesse de la lumière.

#### • Observations affectant l'ionosphère

En fait, c'est une des seules méthodes ayant détecté des précurseurs de séismes à partir d'observations satellitaire. Cicerone *et al.*, (2009) décrivent 3 papiers historiques concernant les premières mesures satellitaires (Larkina *et al.*, 1989 ; Serebryaskova *et al.*, 1992 ; Parrot, 1994).

Ces résultats ont conduit le CNRS et le CNES à mettre en orbite le satellite DEMETER, dont l'objectif premier est d'étudier les perturbations de la haute atmosphère et de l'ionosphère, associées aux phénomènes géophysiques naturels. Cette mission s'est particulièrement penchée sur les émissions électromagnétiques et les perturbations du plasma ionosphérique qui pourraient être engendrées par l'activité sismique ou volcanique et avant les séismes (CNRS & CNES, 2004). L'étude des précurseurs ionosphériques a débuté dans les années soixante (Davies & Baker, 1965) et a été sérieusement investiguée depuis, grâce notamment aux ionogrammes des stations ionosphériques et aux données satellitaires (ISSb, Japon ; DEMETER, France). Les anomalies reportées sont pré-sismiques et co-sismiques. Elles concernent des paramètres aussi variés que :

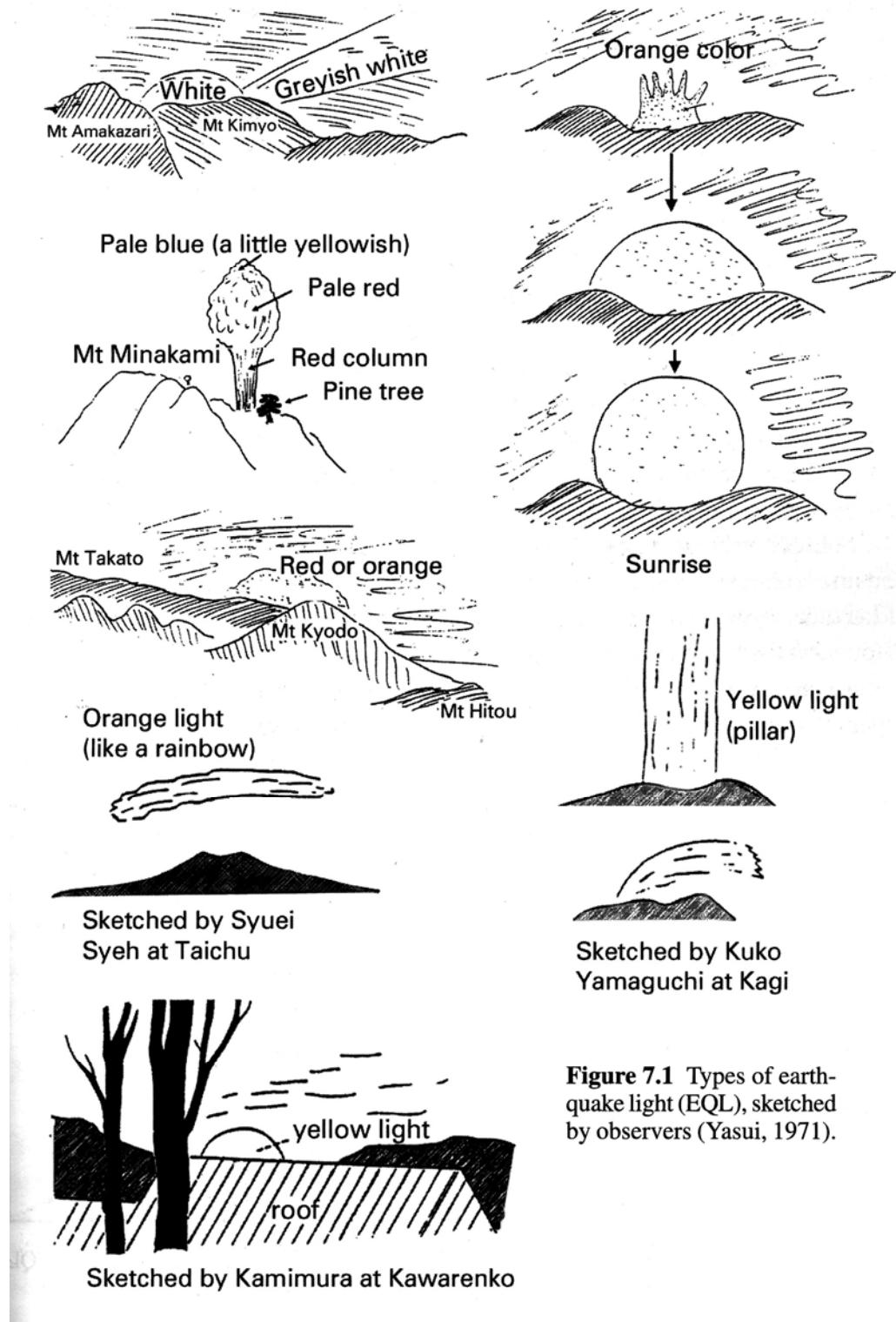
- la variation de la valeur de la fréquence critique des couches de l'ionosphère, notamment la couche F2 (Chi-Chi, M7.3, 21/09/99 ; étudié par Chuo *et al.*, 2002; Hachinohe, M8.3, 16/05/1968 Hobara et Parrot, 2005 ; et Dabas *et al.*, 2007) ou la couche E-sporadique (Asie Centrale, Liperovsky *et al.*, 2000 ; Hyogo-ken Nanbu, M7.2, 17/01/1995 in Ondoh 2003 et 2004) ;
- l'altitude virtuelle des couches, par exemple de la couche F (Hokkaido, M7.8, 1998, in Ondoh, 1998) ;
- la phase et l'amplitude des ondes VLF/LF sub-ionosphériques (Rozhnoi *et al.*, 2003). Deux méthodes existent : analyse des anomalies de phase et d'amplitude nocturnes pour les longs parcours (Sumatra, 26/12/2004, M9.0 in Horie *et al.*, 2007a et 2007b) ; méthode TT (Terminator Time) d'analyse des minima caractéristiques des variations quotidiennes de phase et d'amplitude au cours du trajet à l'aube et au crépuscule (Kobe M7.2 17/01/1995 in Molchanov *et al.*, 1998) ;

- l'intensité de certaines ondes VLF/LF pouvant circuler dans la partie supérieure de l'ionosphère (signaux dits en « whistler-mode »). Les signaux sont analysés à l'aide du satellite DEMETER (CNRS & CNES, 2004 ; Sarkar *et al.*, 2007 ; Muto *et al.*, 2008) ;
- les flux brutaux de particules chargées de haute énergie (Aleksandrin *et al.*, 2002 ; Sgrigna *et al.*, 2005) causés par les émissions électromagnétiques ULF d'origine sismique se propageant jusque dans la magnétosphère. Les anomalies ont été observées par des spectromètres magnétiques embarqués à bord des stations MIR, SALYUT-7 et satellites INTERCOSMOS-BULGARIA-1300 et METEOR-3 à partir de la fin des années 80.

Tous ces phénomènes ont été décrits comme pouvant se produire jusqu'à plusieurs jours avant l'événement (He *et al.*, 2009).

#### • Nuages et éclairs lumineux sismiques

Des observations de nuages anormaux et d'éclairs lumineux ont été faites depuis plusieurs siècles. Ces nuages et éclairs peuvent prendre des formes et couleurs variables, pouvant être blancs, bleus, verts, orangés. Nous reproduisons ici en Figure 28 et en Figure 29 des schémas extraits d'Ikeya, 2004. Le nuage en forme de tornade de la Figure 29 a été photographié huit jours avant le séisme de Kobe, en 1995. Les nuages sont peu étudiés dans la littérature alors que les éclairs le sont.



**Figure 7.1** Types of earthquake light (EQL), sketched by observers (Yasui, 1971).

Figure 27 - Types d'éclairs lumineux précédant un séisme. Ikeya, 2004 citant Yasui, 1971

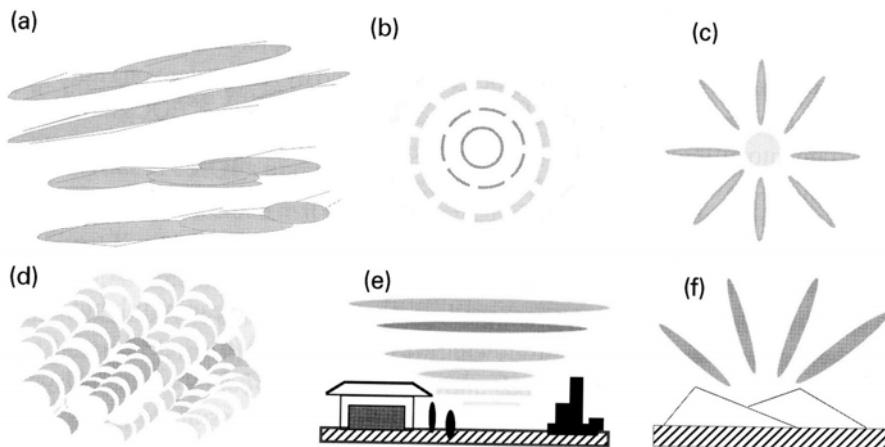


Figure 28 - Formes de nuages pré-sismiques. (a) : nuages blancs étirés sur fond de ciel bleu ; (b) nuages concentriques similaires à des rides ondulaires ; (c) : nuages radiaux ; (d) : cirrus ; (e) : nuages horizontaux produits par (b) ; (f) : autre représentation de (c). Ikeya, 2004



Figure 29 - Nuage en forme de tornade, photographié huit jours avant le séisme de Kobe en 1995. Un autre nuage similaire a été observé la veille (Ikeya, 2004).

## **Modèles**

Plusieurs phénomènes pourraient se conjuguer afin de produire les anomalies reportées dans l'ionosphère. Une théorie générale est toujours en cours d'élaboration (Pulinets, 2004 ; Molchanov *et al.*, 2004).

- **Champs électriques verticaux et ondes gravitaires acoustiques**

Le rôle des ondes atmosphériques gravitaires (onde de gravité se déplaçant à la vitesse du son, dite « atmospheric gravity waves », AGW) est discuté. La perturbation pré-sismique de la composante verticale du champ électrostatique provoque la modification de la densité d'électrons et un échauffement non stationnaire par effet Joule local dans l'ionosphère, conduisant à la génération d'ondes atmosphériques gravitaires (Hegai *et al.*, 2006). Ces ondes s'intensifient à 70-90 km d'altitude et influencent alors la densité d'électrons. L'influence propre aux AGW est très discutée. Pulinets (2004) souligne, sur la base notamment d'expériences, que l'influence des AGW seules ne peut expliquer les anomalies de TEC de l'ionosphère, la variation correspondante étant inférieure à celle due aux phénomènes atmosphériques courants.

- **Ionisation de l'air atmosphérique suite à la génération de charges dans les roches**

La génération de « p-holes » ou « positive holes » correspondant à des défauts associés à O<sup>-</sup> dans une matrice de « O<sup>2-</sup> » à l'intérieur des roches serait une conséquence de l'amplification des contraintes s'exerçant sur les roches. Ces charges se déplacent alors vers la surface et s'accumulent jusqu'à provoquer, in fine, l'ionisation de molécules de l'air, et provoquer des effets corona (Freund *et al.*, 2009). Cette ionisation pourrait être massive et perturber l'ionosphère jusqu'à créer des anomalies de la TEC. Elle pourrait également expliquer les précurseurs thermiques (cf. chapitre dédié aux précurseurs thermiques), ainsi que les éclairs pré-sismiques.

- **Dégazage et ionisation proche du sol**

Le dégazage de radon et de gaz à effet de serre stimule d'une part la génération d'ondes acoustiques gravitaires par instabilité du mouvement de l'air, et d'autre part détruit des clusters neutres d'ions préalablement formés par ionisation due au radon, et faiblement liés par les forces de Coulomb (Pulinets, 2004), provoquant l'ionisation de l'air et la formation d'un fort champ électrique vertical. Omori *et al.*, (2009) soulignent l'importance du radon dans l'augmentation de l'ionisation et de la conductivité de la basse atmosphère.

- **Formation des nuages**

Ikeya (2004) attribue la formation de nuages au champ électrique et à l'apparition d'aérosols qui se condensent à des températures froides et précipitent en nuages et brouillards.

### 3.8.2. Exemples d'application

#### *Ionosphère*

Les littératures russe et japonaise donnent beaucoup d'exemples d'applications réussies de la méthode.

Liu *et al.*, (2000) notent que pour les séismes de magnitude supérieure à M5 à Taiwan, il y a 73 % de probabilité que des variations de la fréquence critique de la couche F2 se produisent dans les cinq jours précédent le séisme, sachant qu'il existe au moins un précurseur par événement.

Hayakawa *et al.*, (2008) concluent que les ondes VLF/LF subionosphériques sont perturbées sur un rayon de quelques centaines de kilomètres avant le séisme de Niigata (16/07/2007, M6.8).

En général, le rayon de validité de la méthode est de l'ordre de plusieurs centaines de kms, jusqu'à environ 2000 kms, les processus se déroulant sur des échelles importantes.

#### *Eclairs et nuages*

Ces phénomènes ont été notamment reportés par des témoins oculaires avant les séismes de Kita-Izu (M7.3, 1930), Tangshan (M7.8, 1976), Kobe, Izmit.

### 3.8.3. Fiabilité de la méthode

Une des difficultés de la méthode ionosphérique consiste à discriminer le signal des perturbations courantes (Sharma *et al.*, 2009) telles que les tempêtes solaires-terrestres, géomagnétiques, et même troposphériques. Ce point est pour certains auteurs (Foppiano *et al.*, 2008) l'un des points cruciaux qui rendent encore discutable la fiabilité de la méthode.

## 3.9. COMPORTEMENT DU VIVANT

Les anomalies du comportement des animaux et de la flore (chiens et chats anxieux, poissons-chats agités, régalecs remontant à la surface de l'océan, serpents quittant leur trou en hiver, apparition de stries sur les plants de riz...) sont reportées depuis l'Antiquité, partout sur la planète, et ce en particulier au Japon et en Chine. En Europe, un témoignage intéressant est celui de Kant qui relate, dans ses essais (Kant, 1756) sur les causes du tremblement de terre de Lisbonne (1755, ~M9), le comportement de panique de certains animaux peu de jours avant le séisme.

Des investigations statistiques et méthodologiques du point de vue scientifique, n'ont été entreprises que depuis très peu d'années, ces phénomènes étant traditionnellement négligés voire considérés comme « alternatifs » car :

- de telles manifestations seraient difficiles à discerner du comportement normal, déjà complexe, du vivant en dehors des séismes et pourraient n'être que des coïncidences ;
- les témoignages de personnes ayant observé de tels comportements sont subjectifs voire sujets à des phénomènes de mémoire sélective (un événement anodin étant mémorisé car suivi d'un événement majeur inhabituel), contrairement à des instruments de mesure scientifiques qui eux, sont objectifs et calibrés.

Le fait que, pour nombre de séismes majeurs du passé comme de l'époque contemporaine, des ensembles de témoignages massifs et concordants existent, a conduit récemment des chercheurs (surtout chinois) à investiguer la question (Jiang *et al.*, 1992 ; Feng & Jiang, 1992 ; Jiang *et al.*, 1998). Jiang *et al.*, (1992) ont par exemple étudié le comportement des perroquets. Des expériences sur l'influence de phénomènes physiques, notamment électromagnétiques, sur le comportement des animaux, ont été faites. Le principal ouvrage traitant de ce sujet est celui d'Ikeya, *Earthquake and Animals* (2004). Sheldrake (*The sense of being stared at*, 2003, et *Dogs that know when their owners are coming home*, 1999) est également un des auteurs actifs dans ce domaine.

### **3.9.1. Principe de la méthode**

#### ***Phénoménologie***

Depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours, il existe de nombreux témoignages de comportements erratiques de groupes d'animaux précédant des séismes majeurs. Ces témoignages concernent une très grande variété d'espèces. Les troubles de comportements peuvent être les suivants (Ikeya, 2004, citant des témoignages concernant les séismes de Kobe et Izmit) :

- chiens : se rapprochent de leurs maîtres, essaient de les conduire à l'extérieur, fuient leur habitat pendant plusieurs jours, crient, creusent le sol ;
- chats : se rapprochent de leurs maîtres, deviennent agressifs, fuient leur habitat pendant plusieurs jours, grimpent sur les arbres ;
- rats : fuient leur habitat ;
- lions de mer (zoo, séisme de Kobe, 1995) : crient, refusent de s'alimenter, nagent de manière erratique ;
- poissons-chats : sont animés de mouvements violents alors que leur état normal est calme et inerte ;
- hippopotames (zoo, séisme de Kobe, 1995) : s'immergent dans leur bassin et refusent de réapparaître à la surface pendant plusieurs jours ;
- chevaux : frappent le sol, quittent leur écurie, bondissent frénétiquement ;
- vaches : beuglent, deviennent agressives ou au contraire affectives ;

- perroquets : deviennent silencieux, deviennent nerveux ;
- chauve-souris : volent en rond nerveusement ;
- crocodiles (zoo, Izmit) : refusent de revenir dans leur bassin ;
- serpents : quittent leur habitat en plein hiver ;
- fourmis : quittent leur habitat en transportant leurs œufs ;
- vers à soie : alignement selon une direction préférentielle (Ikeya *et al.*, 1998) ;
- vers de terre : émergent en masse (Figure 30) ;
- crapauds : quittent leur lieu de reproduction (Grant and Haliday, 2010).



Figure 30 - Des vers de terre émergeant en masse à la surface ont été aperçus à Taiwan avant le séisme (M7.7) du 21/09/1999. La photo ci-dessus représente des vers de terre aperçus le 25/10/1999, quelques jours avant une forte secousse secondaire (M6.9, 02/11/1999) (Ikeya, 2004). Emmanuel Kant rapporte qu'un tel phénomène a été observé huit jours avant le tremblement de terre de Lisbonne (~M9, 1755)

Outre les tremblements de terre, de nombreux autres événements catastrophiques non anthropiques (tsunamis, avalanches) et anthropiques (bombardements pendant la deuxième guerre mondiale) sont connus pour avoir provoqué des réflexes de panique chez les animaux.

## **Modèles**

Le vivant réagit face à d'innombrables stimuli de manière complexe et l'une des difficultés consiste à déterminer la ou les causes physico-chimiques provoquant un réflexe (acquis ou inné) de protection et de fuite.

### **• Ondes sismiques**

Les ondes P précèdent les ondes S de quelques secondes. Si les animaux parviennent à détecter les ondes P de basse fréquence (par des sensations acoustiques ou mécaniques), ils peuvent réagir avant le séisme. Mais cette explication ne concerne que les réactions précédant immédiatement les séismes. Or, nombre d'observations de comportements erratiques ont été faites dans les minutes, les heures voire les jours précédant les séismes.

### **• Émissions géo-acoustiques**

Les pulsations acoustiques provoquées par la micro fracture des roches (Gordienko *et al.*, 2008) pourraient être perçues par les animaux. Des rares cas d'êtres humains ayant perçu des sons anormaux peu avant un séisme ont même été recensés (Haiyuan, M8.5, 1920 ; où des sons étranges ont été entendus dans la vallée la nuit précédant le séisme). Sheldrake (1999) pense toutefois que cette hypothèse est peu réaliste car la sensibilité acoustique des animaux dont on a reporté les comportements de panique, n'est pas plus étendue que celle des êtres humains.

### **• Variation d'humidité**

Les variations du niveau des nappes suite à la dilatation pré-sismique déplacent de l'air humide libéré des pores. Le processus de perception de l'humidité par les animaux est connu sous le nom de « hygroréception ». Les araignées et les insectes sont notamment dotés de récepteurs hygrosensibles spécialement dédiés à la perception de l'humidité et de la température. La variation d'humidité pourrait être une raison du comportement erratique des animaux en pays aride, mais ne l'explique pas pour les pays comme le Japon.

### **• Électromagnétisme**

Les travaux de Ikeya (1998, 2004) quantifient l'influence des phénomènes électromagnétiques sur le comportement du vivant, par exemple sur les loches (Figure 31). Typiquement, des pulsations électriques de l'ordre de la ms et de quelques V/m provoquent des réactions de nervosité chez les poissons, crustacés et reptiles tels que les tortues et grenouilles. Pour les mammifères, un champ de quelques dizaines de V/m généré par une machine de Van de Graaf déclenche une réaction. Pour les vers de terre, les abeilles, les fourmis et d'autres insectes, le champ provoquant la réaction s'élève à 100 V/m environ.

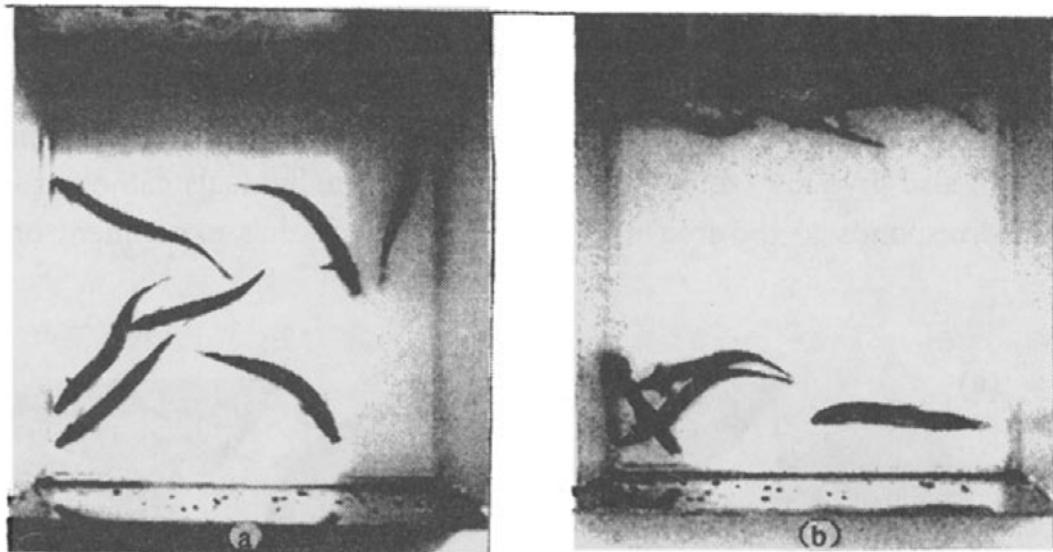


Figure 31 - L'application d'un champ de 70 V/m conduit à l'alignement de loches perpendiculairement au champ (b) alors que leur déplacement était initialement aléatoire (a).  
(Ikeya, 1998)

On pourrait aussi expliquer le comportement de certains animaux par l'influence du champ magnétique. Ikeya (2004) conclut que généralement les variations de champ magnétique sont trop faibles pour pouvoir perturber le fonctionnement d'appareils électriques courants. Mais, selon Kirshvink (2000), cette influence sur les animaux ne serait pas impossible car de la magnétite a été détectée par des études neurophysiologiques dans des bactéries (bactéries magnétostatiques) et certains animaux (abeilles, pigeons, poissons...). Si par le jeu de l'évolution naturelle, certains animaux ont été conduits à développer leurs qualités sensorielles jusqu'à percevoir des variations très légèrement distinctes du bruit, les variations du champ géomagnétique pourraient expliquer certains comportements erratiques peu avant des séismes.

Ikeya a également mené des expériences sur les plantes (Ikeya, 2004). La longueur de pousses de riz diminue lorsque des pulsations électriques sont appliquées dans le sol. Si un champ vertical est appliqué, des stries apparaissent (Figure 32), phénomène rapporté par des témoignages anciens. La tradition orale rapporte des floraisons précoces expliquées par la perturbation des hormones.

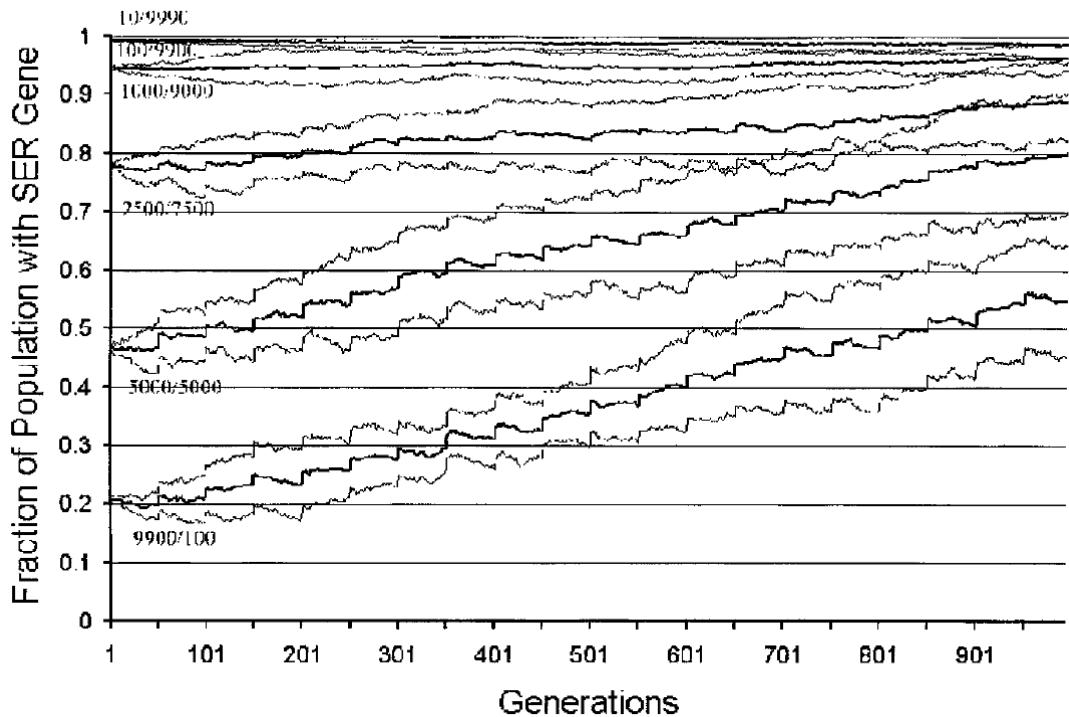


*Figure 32 - Stries obtenues par application d'un champ électrique dans une pousse de riz  
(Ikeya, 2004)*

- **Possibilité du maintien d'un gène favorisant un comportement de protection**

S'intéressant au problème de l'acquisition d'un comportement d'autoprotection par des animaux dont la durée de vie est souvent inférieure à la périodicité de séismes majeurs, Kirschvink (2000) s'intéresse à la possibilité que ce comportement soit en fait un réflexe inné, déterminé génétiquement. Un modèle simple est testé pour modéliser les rats kangourous de Californie vivant autour de la faille de San Andreas.

La modélisation par simulations de Monte-Carlo de premier ordre se déroule de la manière suivante : initialement, dans une même espèce, deux populations sont introduites, l'une porteuse de deux allèles aa inhibant le réflexe de fuite, l'autre porteuse d'allèles AA provoquant la fuite en cas de futur séisme détecté. La quantité d'individus est maintenue à 10000 de génération en génération ; à chaque génération un mâle et une femelle sont arbitrairement sélectionnés et léguent arbitrairement chacun l'un de leurs allèles ; lorsque 10000 individus sont générés, ils sont distribués entre 50 % de mâles et 50 % de femelles. Toutes les 50 générations, un « événement sismique » est modélisé en permettant aux individus porteurs d'au moins un allèle A de survivre et de pouvoir se reproduire tandis que 10 % des individus dépourvus de cet allèle sont éliminés. Pour une même distribution d'allèles initiale, la simulation est répétée dix fois sur 1000 générations. Les données sont moyennées à chaque génération (courbe épaisse de la Figure 33 ; les deux courbes enveloppantes sont les déviations standard à  $\pm 1\sigma$ ).



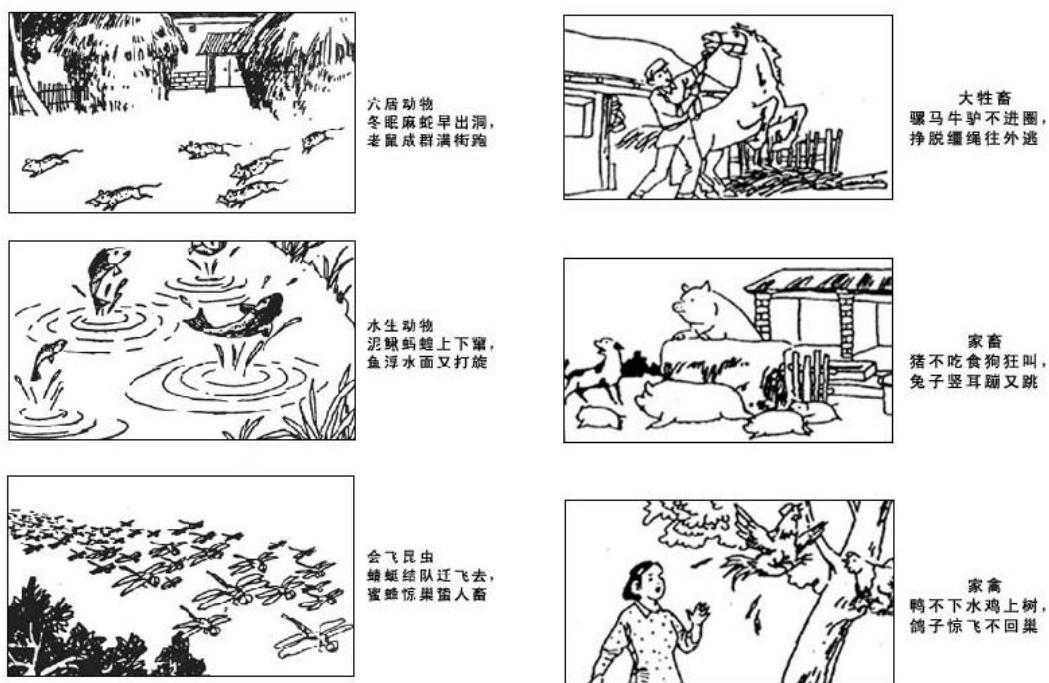
*Figure 33 - Évolution modélisée de la fraction de la population porteuse d'un gène provoquant un réflexe de fuite pré-sismique (SER : seismic-escape response). Plusieurs situations initiales ont été modélisées avec les rapports (individus dépourvus de l'allèle provoquant le réflexe/individus possédant deux allèles provoquant la fuite en cas de séisme) suivants : 10/9990 ; 100/9900 ; 1000/9000 ; 2500/7500 ; 5000/5000 ; 9900/100 (Kirshvink, 2000)*

Cette étude montre qu'il est possible qu'un réflexe de fuite pré-sismique puisse se maintenir dans une population. L'auteur rappelle que son modèle est très simple car ne considérant que deux phénomènes (la reproduction et la survie/mort en cas de séisme, sachant notamment qu'un comportement de fuite de séisme peut être tout aussi bénéfique, que dangereux s'il confronte l'espèce à de nouveaux prédateurs), et que l'évolution génétique est un processus complexe s'étalant sur plusieurs millions d'années.

### 3.9.2. Exemples d'application

Diodore de Sicile (1<sup>er</sup> siècle av. J.C.) rapporte qu'en 373 av. J.C. les rats et serpents ont fui en masse la ville grecque d'Helike peu de jours avant sa destruction complète par un tremblement de terre. Pline l'Ancien écrit que les séismes sont précédés de « l'excitation et la terreur d'animaux sans raison apparente ». En 1095, un témoignage raconte les événements ayant précédé un séisme dans le Würtemberg : « les volailles quittèrent les habitations humaines pour partir et vivre dans les bois et les montagnes ». Emmanuel Kant, dans un rigoureux compte-rendu des phénomènes liés au séisme de Lisbonne (Kant, 1756b), rapporte : « Huit jours avant la secousse, le sol des environs de Cadiz était recouvert d'une multitude de vers de terre qui avaient

émergé du sol [...] Dans plusieurs autres séismes, les éclairs lumineux dans l'atmosphère et l'anxiété que l'on remarque chez les animaux ont été des précurseurs » ; « Les animaux sont pris de panique peu avant. Les oiseaux volent vers l'intérieur des maisons, rats et souris fuient de leurs trous ». De nombreux autres cas ont été reportés pour des séismes majeurs historiques, jusqu'à ceux de Kobe (1995), Taiwan (1999) et Izmit (1999). La tradition est bien documentée en Chine car ces phénomènes sont considérés avec intérêt (Figure 34). En particulier, depuis les années 70, la Chine forme ses habitants à reporter les anomalies du comportement d'êtres vivants, ce afin d'anticiper les séismes, par évacuation si nécessaire.



*Figure 34 - Représentations chinoises de comportements animaliers erratiques pouvant annoncer un séisme.*

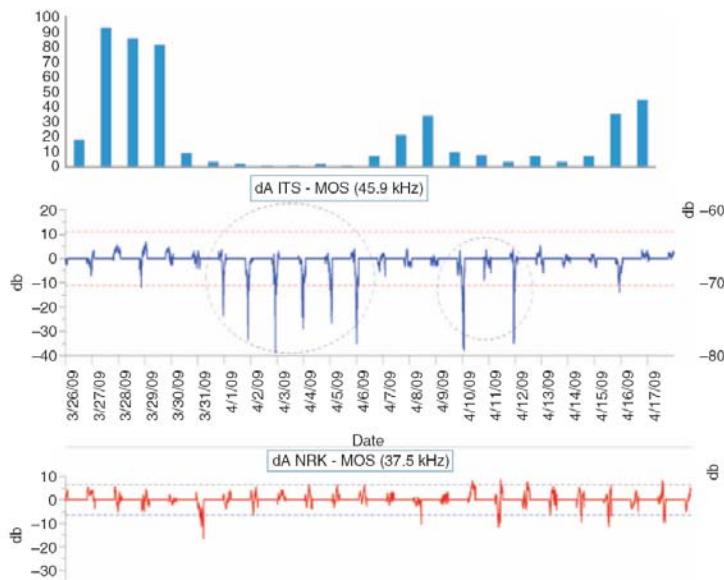
La chronologie des événements animaliers liés au séisme de Haicheng est la suivante :

- mi-décembre 1974 : en plein hiver, des serpents quittent le sol où ils hibernaient pour émerger (et périr de froid) ; des rats émergent en groupes et semblent si paniqués qu'ils peuvent être attrapés à la main ; les volailles sont anormalement excitées ; les eaux deviennent troubles ;
- janvier 1975 : on reporte plus d'une vingtaine d'espèces atteintes par des anomalies de comportements. Les autorités envisagent l'évacuation de Haicheng ;
- début février 1975 : recrudescence des observations. Les chevaux et les cochons montrent des comportements d'anxiété. Les anomalies des eaux de puits se répandent ;

- 4 février 1975 : au matin, ordre d'évacuation de Haicheng. Le séisme a lieu à 19h36 le même jour.

La prédiction de ce séisme historique s'est à la fois basée sur la formation des Chinois à détecter et rapporter les comportements erratiques des animaux, les perturbations des eaux d'aquifères, et la séquence de tremors qui ont précédé de peu l'événement.

Une population de crapauds a été étudiée dans la période précédent et suivant le séisme de l'Aquila le 6 avril 2009 (Grant et Halliday, 2010). L'étude a été menée sur un site de reproduction près d'un lac à environ 75 kms de l'épicentre. Elle montre un comportement anormal net des crapauds dans les cinq jours précédant le séisme, anomalie qui est d'ailleurs également corrélée avec les anomalies dans l'ionosphère (Figure 35). L'anomalie est nette car le nombre de crapauds présents sur le site chute de 96 % cinq jours avant le séisme ce qui est très inhabituel en période de reproduction.



**Figure 35 - Activité reproductive des crapauds et perturbations ionosphériques avant et après le séisme de l'Aquila.** De haut en bas : nombre de crapauds actifs sur le site de reproduction ; perturbations ionosphériques étudiées via l'étude de la propagation d'ondes de très basse fréquence sur le chemin ITS-MOS (Sicile-Moscou) et NRK-MOS (Islande-Moscou, chemin témoin ne passant pas par l'épicentre) (Grant et Halliday, 2010)

Des comportements inhabituels ont été observés dans les jours précédant les séismes de Tangshan (1976) et du Sichuan (2008) sans que l'information ait donné lieu à des mesures de sécurité. Des migrations massives de crapauds et de papillons ont été observées avant le séisme du Sichuan (Fletcher, 2008).

**Figure 6** Numbers of male toads *Bufo bufo* active at the breeding site (above) and ionospheric perturbations sounded by very low frequency (VLF) radiowave propagation for the Moscow – ITS path which passed near the epicentre and one of the control paths (Moscow–NRK). The x-axis shows number of male toads (above) and the amplitude of disturbances in the VLF signal (decibels). From Rozhnoi et al. (2009). The y-axis shows date.

### 3.9.3. Fiabilité de la méthode

Cette méthode a officiellement contribué, en association avec notamment l'analyse de la séquence de trémors pré-sismiques, à l'une des seules prédictions de séisme majeur réussies de l'histoire moderne (Haicheng, M7.3, 1975).

Le comportement des poissons-chats est observé au Japon (université d'Osaka, <http://catfish.ess.sci.osaka-u.ac.jp/>). Le Tokyo Metropolitan Fisheries Experimental Station a étudié la corrélation entre le comportement des poissons-chats et les séismes entre 1976 et 1992. Sur 87 événements supérieurs en magnitude à M3, 27 cas (30 %) ont été corrélés avec une agitation des poissons-chats dans les dix jours précédant les événements.

Comme amélioration possible autre que la poursuite des recherches sur le comportement du vivant face à des stimuli physico-chimiques corrélés avec l'activité sismique, Sheldrake (2003) souligne que grâce aux moyens de communication modernes (ordinateurs, téléphones...) il est possible de remarquer rapidement un comportement erratique massif affectant de vastes régions, et suggère de mettre en place des centres de recueil de témoignages (par exemple un numéro de téléphone d'urgence) permettant d'être rapidement tenu au courant de comportements erratiques non plus individuels (et donc ambigus) mais de masse (statistiquement significatifs).



## 4. Discussion

### 4.1. LA QUÊTE DU « GRAAL SISMOLOGIQUE »

La question de la prévision des séismes a suscité un débat épineux au sein de la communauté des scientifiques depuis longtemps (par exemple : voir la discussion dans *Nature*, 1999). On tente dans cette partie de relater les aspects abordés dans ces débats à la lumière de nos travaux.

De manière générale, certains scientifiques parlent de la prédiction des séismes comme « l'alchimie des temps modernes, comme Isaac Newton cherchait l'alchimie au début de ses recherches », d'autres défendent la thèse de Newton, considérant qu'à son époque les techniques n'étaient simplement pas adaptées à la démonstration qu'ont pu faire Becquerel et Curie plus tard. Ces scientifiques estiment que l'objectif de la prédiction des séismes à court terme est parfaitement louable, même s'il n'est pas encore à portée de main. Ils défendent l'idée qu'une approche fondamentalement différente doive être entreprise pour comprendre ce que sont les séismes.

Cette description philosophique illustre bien l'état de l'art du débat : il y a à la fois un certain consensus et aussi un certain degré de controverse. En 2000, il paraissait accepté que la prédiction déterministe d'un séisme permettant l'établissement d'une évacuation planifiée à l'avance ne fût pas un objectif réaliste. Aujourd'hui, déterminer si on pourra un jour intégrer une explication rationnelle des précurseurs dans une procédure pour prévoir les séismes est redevenue une question plus ouverte (Crampin & Gao 2010).

### 4.2. SIGNIFICATION DES PHÉNOMÈNES GÉOPHYSIQUES OBSERVÉS

#### 4.2.1. Apport de notre étude

Les séismes destructeurs se produisent le long des failles, un système complexe de roches hétérogènes, fracturées où des fluides circulent sous l'effet des contraintes tectoniques et modulées par le flux géothermique. Lors de l'analyse des travaux portant sur les précurseurs de séismes, nous avons distingué deux approches pour l'étude du système « faille » :

- ✓ des études portant essentiellement sur le mécanisme du séisme lui-même conduites par des sismologues. Ces études permettent de comprendre la géométrie des failles, les mécanismes de propagation de la rupture et prédire le lieu et la magnitude des séismes à ces lieux de manière statistique. Elles sont concentrées sur la faille principalement. Elles ne permettent pas actuellement de prédire les séismes à court terme. Elles concernent :
  - des études théoriques portant sur la source sismique elle-même dont l'objectif est de prédire le comportement des failles,

- des études numériques portant sur la propagation des ondes dans le milieu encaissant,
  - des études statistiques portant sur le cycle sismique, sur les lois d'échelles,
  - des études cherchant à déterminer les phénomènes déclencheurs au niveau de l'hypocentre ;
- ✓ des études portant sur des observations de phénomènes aux alentours de la faille génératrice du séisme. Ces études n'arrivent pas à relier les précurseurs observés aux modèles actuels de faille. Les précurseurs rapportés à court terme sont principalement issus de l'observation de phénomènes expliqués par les conséquences de la modification de l'état de contrainte de l'encaissant autour de la faille, juste avant sa cassure. Elles s'adressent aux conséquences des effets préparatoires du séisme sur l'environnement de la faille.

L'hypothèse avancée implique des modifications des contraintes dans l'encaissant fracturé, modifiant les pressions de fluides ce qui se traduit par :

- des variations de niveau d'eau dans les puits ;
- une libération de gaz enfermés dans des fractures par déformation lente avant le séisme ;
- des effets électromagnétiques observés jusque dans l'ionosphère ;
- des observations du comportement animalier comme conséquence de ces modifications du milieu, etc.

Nous étayons dans la suite cette hypothèse.

#### **4.2.2. Apports et limites de l'approche sismologique exclusive**

L'hypothèse du gap sismique permet d'estimer des lieux et les magnitudes à long et moyen termes. Le problème réside dans la définition exacte du gap sismique et des études complémentaires sont nécessaires.

La plus grande difficulté pour les sismologues est de ne pas trouver les clefs pour pouvoir prédire les séismes à court terme. Le problème majeur est d'arriver à définir un modèle physique de faille permettant d'intégrer les observations de phénomènes précurseurs dans les scénarios probabilistes des séismes futurs. Cela conduit à une controverse sous deux formes :

- ✓ la difficulté d'identifier de façon reproductible et claire chaque phénomène précurseur observé avant des séismes et de convaincre les sceptiques de leur existence même. Certains chercheurs pensent que cette difficulté s'amoindrira avec le temps, en particulier si les moyens alloués à la recherche de tels précurseurs sont considérablement augmentés. Cependant, d'autres estiment que l'investissement dans ces domaines serait en pure perte ; si ces financements doivent être alloués, ils pensent qu'il faudrait définir des domaines très spécifiques, les plus prometteurs de la recherche des mécanismes

fondamentaux du fonctionnement des failles. Certains chercheurs tempèrent en affirmant que malgré les problèmes, il ne faut pas éliminer l'analyse sur les essaims sismiques qui peuvent donner des résultats (voir par exemple Murru, 2009) ;

- ✓ il manque un modèle physique uniifié du système « faille », système où se produisent des processus complexes et non-linéaires intervenant dans la genèse des séismes. Tous les sismologues s'accordent en effet sur le rôle fondamental de la friction dans la physique locale de la fracture. Mais comment prendre en compte et transposer les changements de conditions aux limites entre ceux constatés sur les mesures effectuées en laboratoire et ceux existant en conditions réelles sur le terrain ? De même, comment traduire dans un modèle les interactions entre failles ?

Ainsi, les sismologues sont confrontés à la difficulté de la définition même d'un modèle, qui se heurte à l'extrême complexité du système Terre lui-même. La difficulté pour établir un tel modèle provient de la nature même du comportement fractal des populations de séismes, donc non déterministe. Certains sismologues n'excluent cependant pas la possibilité de l'existence d'un déterminisme à court terme. Il n'y a actuellement aucun élément permettant d'éliminer l'hypothèse de l'existence de fluctuations finies des contraintes localement et de leur effet à longue distance. A contrario, ces fluctuations influencent les probabilités d'occurrence de séisme. Comme ces perturbations peuvent être très petites et que leur détection peut être masquée par les fluctuations continues du bruit ambiant, un niveau de base est difficile à définir.

La difficulté provient donc de la difficulté inhérente à la physique fondamentale elle-même, à savoir définir la limite entre un système déterministe et un système aléatoire. C'est la dualité entre le chaos et l'ordre qui explique aussi bien les corrélations dans les populations de failles et de séismes et les phénomènes physiques à plus petite échelle. Il apparaît clairement établi que la physique des séismes comporte une part d'aléatoire qui explique à la fois les corrélations statistiques entre séismes et la sensibilité extrême de petites perturbations des contraintes générant la microsismicité. Il reste donc un très long chemin à parcourir avant de pouvoir établir un consensus sur l'impossibilité d'effectuer une prédiction déterministe précise.

#### **4.2.3. La faille replacée dans son contexte géologique : vers une approche intégrée**

Même si les phénomènes observés avant les séismes ne sont pas intégrés dans un modèle déterministe de fonctionnement de faille, il n'en reste pas moins que de nombreux précurseurs, comme démontré dans cet état de l'art, ont été détectés avant certains séismes à l'aide de méthodes variées. Par exemple, Silver & Wakita (1996) ont démontré après le séisme de Kobe en 1995 que de nombreux signaux précurseurs se sont produits, mais mal interprétés avant l'occurrence du séisme, faute de modèle intégrateur et faute d'attention portée à ces signaux.

Il n'y a, à présent, plus de doutes que bon nombre de séismes sont précédés de réels précurseurs, mais les processus physiques générant ces phénomènes sont encore

très mal compris, principalement à cause du manque d'observations de bonne qualité et du manque d'un modèle intégrateur. Elles nécessitent donc des investigations complémentaires.

Récemment, certains scientifiques, y compris parmi les sismologues, se sont fait l'écho que la clé de la réussite pour la prédiction des séismes nécessite une approche multidisciplinaire, à un niveau bien plus intégré que jusqu'à présent (Li *et al.*, 2003). Ces scientifiques estiment que les moyens de calcul modernes sont sous-utilisés, comme l'intelligence artificielle, la physique statistique, les ordinateurs massivement parallèles, le déploiement de systèmes d'observations multiparamètres des phénomènes sur une grande échelle. Ils souhaitent bien entendu les coupler avec des études plus traditionnelles de sismologie et de géologie pour attaquer de front le problème des séismes dans sa globalité.

De nombreux scientifiques considèrent qu'une compréhension fondamentale des processus sismiques (problème de la source *et* du cycle sismique complet) est nécessaire. Seulement à cette condition, on pourra estimer les avantages et les limites de la prédiction des séismes, comme la théorie des systèmes dynamiques et du chaos ont permis de comprendre les limites des prévisions météorologiques. Selon ces scientifiques, la météorologie est bien plus avancée que la science des séismes, pour deux raisons :

- ✓ malgré les incertitudes sur les prévisions météorologiques, les observations sont denses et en 3D alors qu'en sismologie, le nombre d'observations précises des nombreux paramètres en jeu est très limité (et en 2D – à la surface de la Terre) ;
- ✓ les phénomènes physiques impliqués lors des séismes sont complexes et couplés. De plus, les mécanismes d'initiation de la rupture sismique se produisent à plusieurs kilomètres de profondeur et la connaissance de l'état rhéologique (lois de comportement) est mal contrainte.

Il semble donc qu'il soit trop tôt pour définir des limites de la prédictabilité des séismes. Parmi les études proposées en 1999 pour avancer sur la définition de ces limites, les scientifiques proposent que des études poussées sur les mécanismes générateurs des séismes soient entreprises afin de lever de nombreux paradoxes<sup>6</sup>, concernant :

- ✓ la déformation (Jackson *et al.*, 1997) ;
- ✓ les contraintes (Zoback *et al.*, 1987) ;
- ✓ le flux de chaleur (Lachenbruch *et al.*, 1980 ; 1992) ;
- ✓ la présence de fluide, etc. (Sornette, 1999).

Ces études font appel à des processus complexes se produisant dans le système faille replacé dans son encaissant. Il n'y a pas encore de compréhension générique de ces paradoxes (par exemple, Cyranoski, 2004 ; Colangelo *et al.*, 2007). L'étude des

---

<sup>6</sup> Ces études sont purement sur les mécanismes de fonctionnement du système faille et n'ont donc pas été étudiées, car hors sujet.

systèmes auto-organisés en particulier semble prometteuse depuis quelques années. Sornette, dans le débat de Nature en 1999, explique pourquoi cette étude est fondamentale. Elle est très complexe à décrire et la mise en application prend du temps.

#### **4.3. LIENS AVEC LA PRÉVENTION ET LA GESTION DE LA CRISE**

Tous les scientifiques s'accordent et répètent que ce ne sont pas les séismes eux-mêmes qui tuent les gens, mais leurs effets sur les constructions humaines qui s'effondrent. Par conséquent, le moyen le plus sûr de se prémunir contre les effets destructeurs des séismes est d'aménager le territoire et de construire selon les normes parasismiques.

Les difficultés pour comprendre les mécanismes des séismes et pour décrypter les précurseurs poussent même certains détracteurs à poser la question de l'intérêt même de financer des recherches sur les séismes et en particulier les précurseurs et qu'il vaudrait mieux uniquement consacrer les financements aux études se focalisant sur la vulnérabilité et la prévention.

Pour leur défense, les scientifiques prônant les études sur les précurseurs soutiennent qu'il existe aussi des avantages au fait que les autorités puissent disposer de moyens à prévoir les séismes à court terme. Ils défendent l'idée que même si une faible probabilité d'occurrence d'un séisme à un endroit était un jour établie, cette idée même aurait un impact important pour la préparation des autorités, bien avant l'occurrence du séisme. En effet, expliquent-ils, cette annonce ne justifierait pas forcément l'évacuation en masse d'une ville – qui elle-même aurait ses problèmes spécifiques – mais contribuerait à aider les autorités et les populations à se préparer correctement avant le séisme.

Les prédictions à long et moyen terme basées sur le gap sismique permettent de définir les zones les plus probables d'occurrence des prochains séismes. De la même manière, ces études sur les précurseurs à court terme contribueraient :

- ✓ à renforcer l'utilisation des normes parasismiques pour les constructions ;
- ✓ à donner des arguments motivants pour garder en éveil la vigilance du public et des agences de sécurité civiles ;
- ✓ à aider à la préparation des effets des séismes et donc à la prévention du risque sismique.

#### **4.4. POLITIQUES DE RECHERCHE SUR LES PRÉCURSEURS**

À la lumière de ces éléments, des scientifiques proposent des pistes pour conduire les recherches en matière de prévision de séismes.

Certains préféreraient allouer les efforts uniquement sur les aspects fondamentaux, (compréhension des déformations transitoires), plutôt que de disperser les

financements sur une large palette d'applications (observations, modèles et vulnérabilité). Ces approches ne sont pas incompatibles, mais le financeur est sollicité par différentes approches.

Certains scientifiques américains se plaignent du fait que le simple fait de mentionner « précurseurs de séismes » dans une demande de financement garantisse son échec. Les détracteurs estiment que pour financer de telles études sur les précurseurs, il faudrait que les objectifs soient mieux définis, à savoir pouvoir donner des éléments précis, non-ambigus et reproductibles de prédiction, afin de permettre aux objectifs d'être testés sur preuves... ce qui incite ces détracteurs à recommander le gel des financements jusqu'à ce que ces preuves irréfutables soient apportées. D'autres défendent au contraire l'idée selon laquelle tant que les subventions ne sont pas au niveau des financements alloués dans d'autres domaines scientifiques, comme les sciences astronomiques aux États-Unis, aucun progrès significatif ne pourra être fait.

#### 4.5. QUELQUES APPROCHES ALTERNATIVES

Pour compléter notre étude, nous mentionnons ici des approches récentes s'adressant à des aspects moins directement liés aux précurseurs, mais qui peuvent constituer des pistes de recherches élargies, dans l'esprit de l'approche intégrée décrite plus tôt. Cette liste n'est pas exhaustive.

- ✓ l'influence des fluides dans le système faille commence à être ré-étudiée (exemple : Kümpel, 1991 ; Lockner & Byerlee, 1995 ; Che *et al.*, 2000 ; Rigo *et al.*, 2010) ;
- ✓ une nouvelle méthode d'étude des failles mise en place sur la faille d'Istanbul en Turquie dans le cadre d'une coopération franco-turque animée par l'INSU<sup>7</sup>. L'émission de bulles observée sous la mer pourrait correspondre à des dégagements gazeux dans la faille. L'idée est de détecter un changement de production de bulles avant l'occurrence d'un séisme attendu à Istanbul dans les années qui viennent. Ces approches pourraient également être appliquées dans des zones où des bulles sont émises (Guadeloupe, Bouchot *et al.*, 2009) ;
- ✓ des recherches sur les déclencheurs de séismes, comme les typhons (Liu *et al.*, 2009) ;
- ✓ les études sur les méthodes de corrélation de bruit ambiant ; elles permettent d'imager la structure des zones de failles (modèles de vitesse), mais également de suivre l'évolution des variations du modèle de vitesse (Wegler & Sens-Schönenfelder, 2006 ; Jousset *et al.*, 2010a) ; elles pourraient permettre de suivre l'évolution du changement de contrainte avant l'occurrence de séisme majeur ;
- ✓ les études sur la sismicité induite lors de l'effondrement contrôlé de cavité saline (Daupley *et al.*, 2010 ; Jousset *et al.*, 2010b) ;

---

<sup>7</sup> Voir Henry, 2010 : <http://www.insu.cnrs.fr/a3264,bob-observe-bulles-surveiller-faille-sud-istanbul.html>

- ✓ l'analyse des mécanismes de la sismicité lors de l'exploitation des champs géothermiques (par exemple Jousset et Chouet, 2008 ; Jousset *et al.*, 2010c) ; Le projet européen GEISER (dans lequel le BRGM est impliqué) du 7<sup>ème</sup> Programme Cadre a pour thème la compréhension de la microsismicité induite et la prévention des sismiques induits (commencé en janvier 2010) ;
- ✓ l'étude des liens entre sismicité et activité volcanique (par exemple Carbone *et al.*, 2009) ;
- ✓ l'analyse de la microsismicité lors de la vidange ou du remplissage de barrage (ICOLD, 2009).

Toutes ces études ne sont pas forcément directement liées aux précurseurs des séismes tectoniques, mais certains intègrent des phénomènes physiques et/ou chimiques déclenchants ou consécutifs au phénomène sismique.

## 5. Conclusions et perspectives

### 5.1. GÉNÉRALITÉS

Le renforcement des bâtiments est la priorité pour la réduction des pertes de vies humaines face au risque sismique. En même temps, la sismologie doit concourir à cette réduction en progressant sur la prévision des séismes à court-terme. Ces deux aspects sont complémentaires.

L'étude bibliographique effectuée portait sur les méthodes s'intéressant aux précurseurs de séismes.

### 5.2. STATISTIQUES SUR NOTRE ÉTUDE

Parmi les 600 références trouvées et référencées dans la liste donnée à la fin du rapport et répertoriées sur un site web « Refworks », nous en avons étudié 225 plus en détail, soit plus du tiers. Notons que les autres références sont sans doutes mineures par rapport à celles étudiées, soit parce que plus anciennes ou dans une langue particulière (en chinois par exemple) ou redondantes avec des articles en anglais.

Les dates de publication des articles étudiés s'étaient de 1981 à 2010. À partir de 1996, le nombre de publications a fortement augmenté (Figure 36).

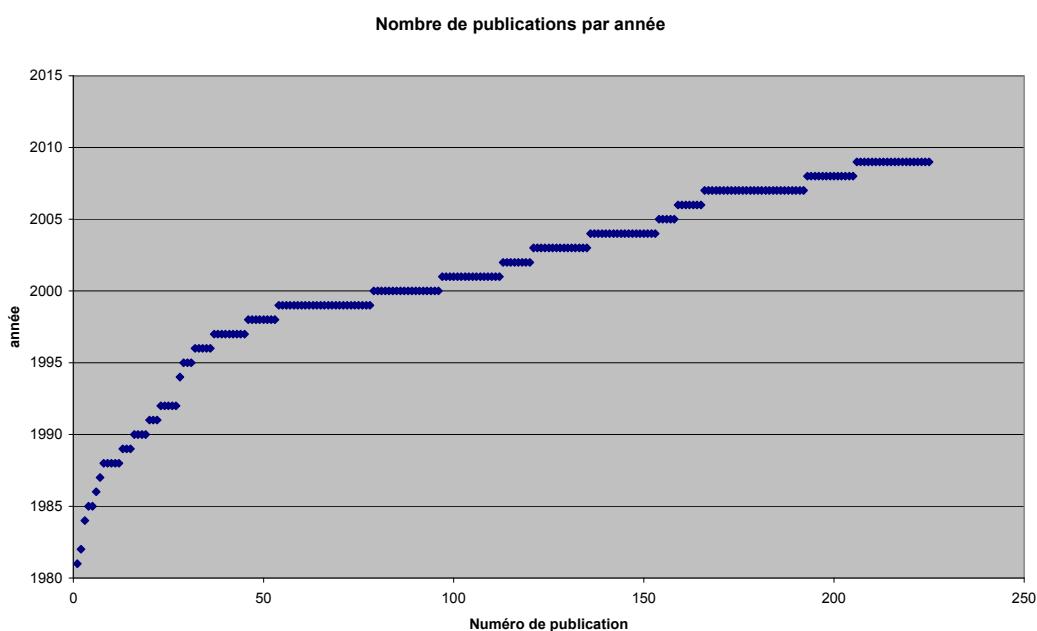


Figure 36 – Nombre de publications par année.

Classées par méthodes, le nombre de publications étudiées comportent :

- ✓ hydrogéochimie : 38 articles entre 1988 et 2008 ;
- ✓ ionosphère : 36 articles entre 1996 et 2009 ;
- ✓ électromagnétisme : 35 articles entre 1982 et 2009 ;
- ✓ géodésie : 35 articles entre 1981 et 2009 ;
- ✓ thermométrie : 31 articles entre 1989 et 2009 ;
- ✓ sismicité : 30 articles entre 1987 et 2007 ;
- ✓ gaz : 8 articles entre 1985 et 2006 ;
- ✓ animaux : 4 articles entre 2000 et 2010 ;
- ✓ observations astronomiques : 3 articles entre 2002 et 2008 ;
- ✓ nuages atmosphériques : 1 article en 2007.

Le nombre de papiers étudiés par origine des équipes contactées par pays (la liste est donnée en annexe) est réparti de la manière suivante :

Chine	Japon	Russie	Italie	Inde	USA	Taiwan	Grèce	Mexique	France	Australie	Chili	Equateur	Roumanie
91	28	28	21	19	18	6	4	2	2	1	1	1	1

Notons que :

- ✓ le nombre de travaux publiés dans les revues internationales reflète l'importance de l'enjeu et la difficulté de la question posée à la communauté internationale. Nous rapportons plus de 600 références sur le sujet dans des revues de rang A, c'est-à-dire significatives et validées scientifiquement par un processus rigoureux. Ce nombre est très certainement très en deçà de l'ensemble des publications sur le sujet. Cela signifie que dans ce rapport, même si l'ensemble des méthodes inventoriées est très probablement exhaustif, l'ensemble des études pour une méthode donnée n'est certainement pas exhaustif. Par conséquent, ces statistiques sont à interpréter avec prudence ;
- ✓ le nombre de travaux publiés par des équipes françaises est faible par rapport au nombre d'études publiées dans des pays à fort risque sismique. Les pays les plus producteurs sont les États-Unis, la Chine, la Russie et le Japon.

### 5.3. ELEMENTS A RETENIR

Cette étude nous permet d'avancer un certain nombre de conclusions. Sur la forme :

- ✓ les méthodes utilisées sont très variées. Elles embrassent l'ensemble des mesures physiques possibles sur Terre (mécaniques, électromagnétiques, chimiques), mais aussi des méthodes mathématiques statistiques, des études sur les éléments extérieurs à la faille elle-même, comme les fluides du sol, l'ionosphère, des études sur les comportements des animaux ; elles reflètent la variété des effets physiques et chimiques que la préparation du séisme exerce sur l'environnement de la faille ;
- ✓ aucune méthode n'est à éliminer. Aucune méthode n'est fiable à 100 %. A contrario, l'utilisation de plusieurs méthodes en même temps ne garantit pas la réussite d'une prévision, mais augmente certainement la probabilité de réussite, comme les chinois l'ont démontré dès 1976.

Sur le fond, on peut distinguer les travaux selon deux approches de la problématique :

- ✓ d'une part, des travaux de recherche portant principalement sur les phénomènes physiques sur la faille en tant que telle. Ces études éprouvent de grandes difficultés à trouver des phénomènes précurseurs, sauf à intégrer la faille dans son encaissant ;
- ✓ d'autre part, des travaux de recherche portant essentiellement sur les observations de grandeurs physiques et de modification du comportement du vivant aux alentours des épicentres avant l'occurrence des séismes. Elles ont du mal à être expliquées par les modèles de failles trop simples, mais il n'existe pas encore de modèle « complet ».

Un numéro spécial d'Applied Geophysics a été publié début 2010. Parmi les papiers publiés, seuls deux intègrent, en plus de la sismicité, des observations autres que celles de sismicité (Itaba S., Koizumi N., Matsumoto N., Ohtani R., sur des études de déformation et de variations de niveaux d'eau ; et Ogata, sur le lien entre la déformation et la sismicité). On peut donc conclure que l'intégration de l'ensemble des observations dans un modèle global du système de faille ne se traduit pas encore dans toutes les publications scientifiques actuelles. Cyranoski (2004) notait que le changement de mentalité nécessaire est long à se mettre en place.

Il nous semble, au terme de cette étude, que la prévision des séismes nécessite l'établissement de modèles de failles permettant une compréhension couplée des phénomènes observés. Faut-il chercher à inclure toutes les observations dans un « modèle global de faille » ? Des discussions entre scientifiques de tous bords sont nécessaires.

Le défi majeur réside dans la compréhension des phénomènes couplés impliqués dans la préparation des séismes. Quelques études couplées commencent à apparaître liant par exemple des observations satellitaires et des mesures au sol (Sgrigna *et al.*, 2007 ; Ondoh, 2009), des analyses sur l'anisotropie sismique et les contraintes (Crampin & Gao., 2010), le lien de l'activité animale comme conséquence des perturbations du champ électromagnétique précurseur du séisme de l'Aquila (Grant & Halliday, 2010).

## 5.4. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Le défi majeur réside dans la compréhension des phénomènes couplés impliqués dans la préparation des séismes. Il paraît clair qu'il n'y a pas de méthode « miracle » qui se détache de l'ensemble des observations et modèles étudiés. Comme constaté dans notre étude, il existe une grande variété de phénomènes qui peuvent être suivis, et qui peuvent apparaître pertinents dans certaines situations et pas dans d'autres, suivant l'hétérogénéité géologique locale, la localisation des hypocentres, etc...

La quantité et la diversité des phénomènes qui peuvent concourir et/ou perturber l'émanation de gaz, l'émission de signaux électromagnétiques, etc... font qu'il paraît très optimiste, sauf en contextes particuliers, de pouvoir à moyen terme arriver à définir un "modèle" assez généraliste. Une autre limitation est que l'attribution du terme précurseur à certaines anomalies se fait *a posteriori*, après survenue d'un séisme, ce qui peut inciter dans certains cas à mettre en évidence un lien de cause à effet qui est peut-être plus tenu que celui que l'on veut lui donner.

Cela signifie, qu'il y a nécessité de coupler plusieurs méthodes, dont les méthodes géophysiques, pour augmenter la fiabilité de la prédiction. Quelques approches couplées commencent à apparaître liant par exemple des observations satellitaires et des mesures aux sol (Sgrigna *et al.*, 2007 ; Ondoh, 2009), des analyses sur l'anisotropie sismique et les contraintes (Crampin & Gao., 2010), le lien de l'activité animale comme conséquence des perturbations du champ électromagnétique précurseur du séisme de l'Aquila (Grant & Halliday, 2010).

Néanmoins, ces difficultés ne doivent pas empêcher de continuer à étudier certains aspects plus spécifiques. Nous tentons de dégager, en se basant sur notre étude bibliographique, des pistes (non exhaustives) d'études possibles qui pourraient être développées dans un futur proche.

### 5.4.1. Définition d'une approche multiparamètre, sur un site pilote surveillé sur du long terme

En France, dans les zones soumises à une sismicité historique (Antilles, Ouest de l'arc Alpin, Pyrénées), il pourrait être intéressant d'instrumenter un site pilote et de surveiller les signaux avec des méthodes multi-paramètres, géochimiques et géophysiques. Cette approche a été conduite sur la faille de San Andreas dans les années 1980, avec des résultats mitigés. Ces difficultés ne doivent pas empêcher de reconnaître que l'expérimentation pourrait être reconduite, avec une optique clairement établie d'étudier les phénomènes couplés.

Dans le domaine sismologique, les approches d'analyse de bruit ambiant (peu abordées dans notre étude bibliographique) ont démontré des capacités remarquables pour détecter de très faibles variations des paramètres élastiques de la proche surface, comme la vitesse sismique, en relation avec la saison sèche et la saison des pluies, ou comme changement de contrainte avant et après un séisme. L'étude du bruit ambiant par un réseau dense de sismomètre placé autour d'une faille active pourrait permettre

de détecter des changements de vitesses des ondes sismologiques de la sub-surface avant un séisme.

Sur les aspects géochimiques, l'approche serait de surveiller en continu le contenu du CO<sub>2</sub> et du radon dans les sols et de sources à circuits d'alimentation plus ou moins profonds sur des durées assez longues (1 à 2 cycles hydrologiques – de l'ordre de l'année). Au cours de l'étude, si des séismes de magnitude M>2 se produisent dans l'intervalle de temps, la pertinence de ces mesures pour les faibles magnitudes pourrait être testée.

Pour les études sur les précurseurs dans l'ionosphère et en thermométrie, la principale difficulté consiste à dégager sans ambiguïté l'anomalie thermique (respectivement ionosphérique) des autres phénomènes provoqués par la météorologie (respectivement tempêtes solaires) et d'autres phénomènes naturels. L'effort à poursuivre dans ces domaines consisterait à continuer à dépouiller les données de satellites et de sondes ionosphériques, et trouver une méthode d'analyse robuste dégageant la composante liée au séisme à celles des autres phénomènes naturels observés. L'observation de nombreux paramètres sur un site approprié permettrait de déconvoluer les signaux les uns des autres.

Les précurseurs animaliers sont souvent associés aux témoignages oraux, au folklore et aux superstitions des temps anciens et sont ainsi, et du moins en Occident, inconsciemment considérés comme peu dignes d'être l'objet de croyance et d'investigation scientifique. Mais l'étude fortuite de Grant (2010) sur la perturbation du comportement des crapauds de la région de l'Aquila a corrélé *in situ*, pour la première fois, et avec une méthodologie parfaitement scientifique, un séisme avec une anomalie de comportement. Il est à noter que l'article a été publié dans le *Journal of Zoology*, que l'approche initiale était zoologiste, laquelle diffère sensiblement de l'approche "sismologique" (Ikeya) où l'on a cherché à éprouver des animaux à l'aide de stimuli basiques (courant électrique, secousses...) en milieu confiné. Ici le cadre de recherche était d'observer d'une population entière de crapauds en période de reproduction dans leur milieu naturel. On pourrait proposer, comme direction d'étude, un travail commun entre communautés zoologiques et sismologiques. Par exemple les zoologues pourraient investiguer les zones à sismicité régulière afin d'observer de telles anomalies.

En parallèle, les études sur la compréhension théorique et la modélisation des modèles couplés doivent être poursuivis.

Enfin, une autre approche pourrait s'appuyer sur la réalisation d'un forage scientifique dans une faille active afin de déterminer l'ensemble des paramètres structuraux de la zone sismogénique (Zoback et al., EOS, 91, 22, Juin 2010).

#### **5.4.2. Choix du site d'étude**

En lien avec des opérations de **géothermie**, il se produit souvent des petits événements sismiques lors d'opérations de fracturation hydraulique (Suisse): il serait intéressant, s'il existe des sites où une telle stimulation est prévue, de voir si l'on

enregistre, préalablement à des secousses assez fortes, des modifications sur les circulations fluides, la chimie des eaux, etc ..., en surface et en profondeur en tenant compte des circulations liées à l'exploitation des « Enhanced Geothermal System ». L'objectif du projet GEISER (FP7) s'adresse à directement à ce problème en application avec des observations sismiques sur pas moins de 15 sites géothermaux dont Soultz, Bâle, des sites en Islande. En Guadeloupe, la réinjection du fluide dans le site d'exploitation du système géothermal pourrait être suivie à l'aide d'un ensemble de capteurs géophysiques, géochimiques et satellitaires avec un objectif couplé du suivi du champ mais également de compréhension des phénomènes avec l'idée de chercher des précurseurs. Les mêmes données peuvent servir à plusieurs objectifs scientifiques.

Un autre champ d'investigation pourrait être la recherche de précurseurs en **contexte volcanique actif**. L'intérêt non négligeable est que, les volcans étant souvent instrumentés pour un nombre élevé de capteurs s'adressant à de nombreux paramètres, des bases de données existent et pourraient être enrichies sur des aspects particuliers. Dans ce cas, la sismicité est assez souvent locale, ce qui permet de réduire les effets de séismes plus lointains de faible amplitude - ou au contraire de voir si de forts séismes lointains (distance de 1000 km d'après certains auteurs) peuvent également influencer des zones volcaniques actives. Bien évidemment, la présence d'un volcan amène tout un lot de perturbations sur les circulations fluides et gazeuses, ce qui risque de perturber la survenue de signaux précurseurs. Là encore, les mêmes données peuvent servir à plusieurs objectifs.

Les **suivis de fluides en forage profond ou en tunnels/galeries** (comme l'exemple rapporté en lien avec L'Aquila) peuvent permettre de s'affranchir du bruit de fond de surface, par exemple toutes les influences liées aux activités biologiques dans les sols qui font évoluer de manière diurne les concentrations en gaz en proche surface. Ceci peut permettre d'éliminer un certain nombre de signaux parasites. Par exemple, en association à des sites de stockage profond (type Andra ou Mont Terri<sup>8</sup> en Suisse), certains des microséismes pourraient être précédés de signaux dans un rayon de quelques centaines de mètres à un kilomètre. Un suivi de fluides dans de tels environnements pourrait peut-être apporter des informations intéressantes.

#### **5.4.3. Méthode d'observation et d'analyse**

En ce qui concerne les comportements animaliers, une condition nécessaire pour que cette approche multi-paramètre méthode donne un résultat exploitable, est que les tendances des anomalies de comportement soient vite repérées et évaluées et sur la plus grande échelle possible. Comme travaux futurs possibles, on pourrait envisager des actions dans :

- ✓ l'éducation du public à repérer et mesurer (selon une méthodologie et une échelle à définir) l'ampleur d'une anomalie ;

---

<sup>8</sup> <http://www.mont-terri.ch>

- ✓ l'établissement d'un réseau de centralisation rapide de ces témoignages (site web, centre téléphonique...)

Il faut aussi noter que la publication de l'article de Grant a été particulièrement remarquée par les médias (BBC, M. Walker, 31/03/10 : "Toads can 'predict earthquakes' and seismic activity" ; Guardian, A. Jha, 31/03/10 : "Toads able to detect earthquake days beforehand, says study"). Dans un contexte où, face à des catastrophes provoquant un nombre de dégâts et de victimes considérable, les méthodes rationnelles ne donnent toujours pas de résultats fiables et susceptibles d'être répétés, l'étude de toute autre méthode de prédiction, si "alternative" qu'elle puisse paraître, apparaît à la société comme un champ digne d'investigation, et qui ne peut être omis.

Cette limitation a conduit en Italie une attaque en règle contre les scientifiques qui « n'auraient pas prédit le séisme d'Aquila ». L'ensemble de la communauté scientifique a réagi en appelant à signer une pétition dont le contenu rappelle que malgré tous les progrès faits récemment, «toute étude scientifique sur les séismes ne peut permettre à l'heure actuelle de prédire l'heure et le lieu des séismes et que le seul moyen de se prémunir contre le risque sismique est l'application de normes de constructions parasismiques, et que le contrôle du respect de cette règle incombe aux politiques ».

## 6. Bibliographie étudiée

- Aleksandrin S. Y., Galper A. M., Grishantzeva L. A. et al.** (2003) - High-energy charged particle bursts in the near-Earth space as earthquake precursors. *Annales Geophysicae*, 21, p. 597-602.
- Al-Hilal M., Sbeinati M. R., Darawcheh R.** (1998) - Radon variations and microearthquakes in Western Syria. *Applied Radiation and Isotopes*, 49, p. 117-123.
- Ali S., A. Freed, E. Calais, D. Manaker and W. McCann.** (2008). Coulomb stress evolution in Northeastern Caribbean over the past 250 years due to coseismic, postseismic and interseismic deformation. *Geophys. J. Int.* **174**, 904–918.
- Aliano C., Corrado R., Filizzola C. et al.** (2008) - Robust satellite techniques (RST) for the thermal monitoring of earthquake prone areas: the case of Umbria-Marche October, 1997 seismic events. *Annals of Geophysics*, 51, p. 451-459.
- Aochi, H.**, (2009) Source Sismique: Physique et Perspective pour Aléa, *HDR (French Research-Directorship) thesis*, University of Paris Diderot (Paris VII).
- Areshidze G., Bella F., Biagi P. F. et al.** (1992) - No preseismic evidence from hydrogeochemical parameters on the occasion of the April 29, 1991, Georgian earthquake, Caucasus. *Tectonophysics*, 213, p. 353-358.
- Areshidze G., Bella F., Biagi P. F. et al.** (1992) - Anomalies in geophysical and geochemical parameters revealed on the occasion of the Paravani ( $M=5.6$ ) and Spitak ( $M=6.9$ ) earthquakes (Caucasus). *Tectonophysics*, 202, p. 23-41.
- Asteriadis G., Livieratos E.** (1989) - Pre-seismic responses of underground water level and temperature concerning a 4.8 magnitude earthquake in Greece on October 20, 1988. *Tectonophysics*, 170, p. 165-169.
- Bakun W. H., Aagaard B., Dost B. et al.** (2005) - Implications for prediction and hazard assessment from the 2004 Parkfield earthquake. *Nature*, 437, p. 969-974.
- Bella F., Biagi P. F., Caputo M. et al.** (1998) - Field strength variations of LF radio waves prior to earthquakes in central Italy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, p. 279-286.
- Bella F., Biagi P. F., Caputo M. et al.** (1998) - Hydrogeochemical anomalies in Kamchatka (Russia). *Physics and Chemistry of the Earth*, 23, p. 921-925.
- Bernard P.** (1995) - Les précurseurs des séismes. *Dossier hors série Pour La Sciencep.* 82-85.

**Bernard P., Pinettes P., Hatzidimitriou P. M. et al.** (1997a) - Assessment of schemes for earthquake prediction - From precursors to prediction: a few recent cases from Greece. *Geophysical Journal International*, 131, p. 466-477.

**Bernard P., Pinettes P., Hatzidimitriou P. M. et al.** (1997b) - From precursors to prediction: a few recent cases from Greece. *Geophysical Journal International*, 131, p. 467-477.

**Bernardi A., Fraser-Smith A. C., McGill P. R. et al.** (1991) - ULF magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, p. 45.

**Biagi P. F., Bella F., Cozzi E. et al.** (1999) - Groundwater helium content related to the Spitak (Armenia) and Karymski (Russia) earthquakes. *// Nuovo Cimento*, 22C, p. 399-405.

**Biagi P. F., Bella F., Scandone R. et al.** (1999) - Groundwater argon content on the occasion of strong earthquakes in a seismogenetic area of Kamchatka (Russia). *// Nuovo Cimento*, 22C, p. 503-508.

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T. et al.** (2008) - Disturbances in a VLF radio signal prior the M=4.7 offshore Anzio (central Italy) earthquake on 22 August 2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 1041-1048.

**Biagi P. F., Ermini A., Cozzi E. et al.** (2000a) - Hydrogeochemical precursors in Kamchatka (Russia) related to the strongest earthquakes in 1988-1997. *Natural Hazards*, 21, p. 263-276.

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P. et al.** (2000b) - Groundwater ion content precursors of strong earthquakes in Kamchatka (Russia). *Pure and Applied Geophysics*, 157, p. 1359-1377.

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P. et al.** (2000c) - Possible precursors in groundwater ions and gases content in Kamchatka (Russia). *Physics and Chemistry of the Earth*, 25, p. 295-305.

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P. et al.** (2001) - Difficulties with interpreting changes in groundwater gas content as earthquake precursors in Kamchatka, Russia. *Journal of Seismology*, 5, p. 487-497.

**Biagi P. F., Piccolo R., Castellana L. et al.** (2004) - Variations in a LF radio signal on the occasion of the recent seismic and volcanic activity in Southern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, p. 551-557.

**Bouchot V., H. Trainneau, B. Sanjuan, A. Gadalia, L. Guillou-Frottier, I. Thinon, H. Fabriol, B. Bourgeois, J.M. Baltassat G. Pajot, P. Jousset, E. Lasne and A. Genter,** (2009). Modèle conceptual du champ géothermique haute température de Bouillante, Guadeloupe, Antilles Françaises. Final report, BRGM/RP-57252-FR, 60 p.

- Brace W.F. & J. D. Byerlee** (1966) Stick-Slip as a Mechanism for Earthquakes, *Science*, Vol. 153. no. 3739, pp. 990 – 992. DOI: 10.1126/science.153.3739.990
- Carbone, D., P. Jousset, and C. Musumeci**, (2009). Gravity “steps” at Mt. Etna volcano (Italy): Instrumental effects or evidences of earthquake-triggered magma density changes?, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L02301, doi:10.1029/2008GL036179.
- Castellana L., Biagi P. F.** (2008) - Detection of hydrogeochemical seismic precursors by a statistical learning model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 1207-1216.
- Charlet J. M., Doremus P., Quinif Y. et al.** (1990) - Réalisation et exploitation d'une campagne de mesures des émanations radon dans le bassin de Mons, essai d'application à la prévision des risques naturels. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 112, p. 381-392.
- Che Y. T., Yu J. Z., Liu W. Z. et al.** (2000) - A hypothesis on seismogenic process in a hard intercalary strata in the crust and promoting earthquakes by fluids for intraplate strong earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 93-101.
- Chilingar G. V., Khilyuk L. F., Katz S. A.** (1996) - Pronounced changes of upward natural gas migration as precursors of major seismic events. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 14, p. 133-136.
- Chuo Y. J., Liu J. Y., Pulinets S. A. et al.** (2002) - The ionospheric perturbations prior to the Chi-Chi and Chia-Yi earthquakes. *Journal of Geodynamics*, 33, p. 509-517.
- Choubey V. M., Kumar N., Arora B. R.** (2009) - Precursory signatures in the radon and geohydrological borehole data for M4.9 Kharsali earthquake of Garhwal Himalaya. *Science of the Total Environment*, In press, p. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.08.010.
- Choubey V. M., Mukherjee P. K., Ramola R. C.** (2004) Radon variation in spring water before and after Chamoli earthquake, Garhwal, Himalaya, India. In: Proceeding of 11th International Congress of the international Radiation Protection Association. Madrid, Spain, 1-7
- Choudhury S., Dasgupta S., Saraf A. K. et al.** (2006) - Remote sensing observations of pre-earthquake thermal anomalies in Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 27, p. 4381–4396.
- Chung Y.** (1985) - Radon variations at Arrowhead and Murrieta Springs: continuous and discrete measurements. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 294-308.
- Chyi L. L., Chou C. Y., Yang F. T. et al.** (2002) - Automated radon monitoring of seismicity in a fault zone. *Geofísica Internacional*, 41, p. 507-511.
- Cicerone R. D., Ebel J. E., Britton J.** (2009) - A systematic compilation of earthquake precursors. *Tectonophysics*, Accepted manuscript,

**Cioni R., Guidi M., Pierotti L. et al.** (2007) - An automatic monitoring network installed in Tuscany (Italy) for studying possible geochemical precursory phenomena. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, p. 405-416.

**Claesson L., Skelton A., Graham C. et al.** (2004) - Hydrogeochemical changes before and after a major earthquake. *Geology*, 32, p. 641-644.

**Clément N., Svetlana B., Peter S. et al.** (2009) - Common dependence on stress for the two fundamental laws of statistical seismology. *Nature*, 462, p. 642 - 645.

**CNRS & CNES** (2004) - DEMETER: a l'écoute des tremblements de terre, p. 1-28.

**Colangelo G., Heinicke J., Lapenna V. et al.** (2007) - Investigating correlations of local seismicity with anomalous geoelectrical, hydrogeological and geochemical signals jointly recorded in Basilicata Region (Southern Italy). *Annals of Geophysics*, 50, p. 527-538.

**Crampin S. & Y. Gao** (2010) Earthquakes can be stress-forecast. *Geophys. J. Int.* (2010) 180, 1124–1127 doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04475.x

**Cyranoski D.** (2004) - A seismic shift in thinking. *Nature*, 431, p. 1032-1034.

**Dabas R. S., Das R. M., Sharma K. et al.** (2007) - Ionospheric precursors observed over low latitudes during some of the recent major earthquakes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69, p. 1813-1824.

**Das N. K., Bhandari R. K., Ghose D. et al.** (2006) - Explosive helium burst in thermal spring emanations. *Applied Radiation and Isotopes*, 64, p. 144-148.

**Dasgupta S., Mukhopadhyay B., Bhattacharya A.** (2007) - Seismicity pattern in north Sumatra-Great Nicobar region: In search of precursor for the 26 December 2004 earthquake. *Journal of Earth System Science*, 116, p. 215-223.

**Daupley X., R. Fabriol, I. Contrucci, S. Bernardie, N. Cao, P. Jousset, E. Klein, F. Lebert and B. Bazargan-Sabet,** (2010). Multiparameter monitoring of a salt cavern collapse (Cerville-Buissoncourt site, France), *Geophys. Res. Abstr.*, 12, EGU Vienna, 3-7 May 2010.

**Davies K. & Baker D. M.** (1965) - Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *Journal of Geophysical Research*, 70, p. 2251-2253.

**De La Cruz-Reyna S., Armienta M. A., Zamora V. et al.** (1989) - Chemical changes in spring waters at Tacan volcano, Chiapas, Mexico: A possible precursor of the May 1986 seismic crisis and phreatic explosion. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 38, p. 345-353.

**DeMichele M., D. Raucoules, J. Salichon, A. Lemoine and H. Aochi** (2008) Using InSAR for seismotectonic observations over the Mw6.3 Parkfield earthquake

(28/09/2004, California, The International archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spacial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B4, Beijing 2008.

**Dea J. Y., Hansen P. M., Boerner W. M.** (1993) - Long-term ELF background noise measurements, the existence of window regions, and applications to earthquake precursor emission studies. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 77, p. 109-125.

**Dey S., Singh R. P.** (2003) - Surface latent heat flux as an earthquake precursor. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, p. 749–755.

**Dieterich J. H.** (1978) - Time-dependent friction and the mechanics of stick-slip. *Pure and Applied Geophysics*, 116, p. 790-806.

**Dieterich J. H.** (1979a) - Modeling of rock friction 1. Experimental results and constitutive equations. *Journal of Geophysical Research*, 84, p. 2161-2168.

**Dieterich J. H.** (1979b) - Modeling of rock friction 2. Simulation of preseismic slip. *Journal of Geophysical Research*, 84, p. 2169-2175.

**Dieterich J. H., Kilgore B.** (1996) - Implications of fault constitutive properties for earthquake prediction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3787.

**Dragert H., K. Wang, T. S. James** (2001), A silent slip event on the deeper Cascadia subduction interface, *Science*, v.292, 1525-1528.

**Dobrovolsky I.P, S.I. Zubkov and V.I. Miachin,** (1979) Estimation of the size of earthquake preparation zones. *Pure Appl. Geophys.*, 117, 1025–1044

**Eftaxias K., Kapiris P., Dologlou E. et al.** (2002) - EM anomalies before the Kozani earthquake: A study of their behavior through laboratory experiments. *Geophysical Research Letters*, 29, p. 69/1-4.

**Einarsson P., Theodorsson P., Hjartardottir A. R. et al.** (2008) - Radon changes associated with the earthquake sequence in June 2000 in the South Iceland seismic zone. *Pure and Applied Geophysics*, 165, p. 63-74.

**Elmaghraby E. K., Lotfy Y. A.** (2009) - Differentiation between earthquake radon anomalies and those arising from nuclear activities. *Applied Radiation and Isotopes*, 67, p. 208-211.

**Enescu B., Ito K.** (2001) - Some premonitory phenomena of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu (Kobe) earthquake: seismicity, b-value and fractal dimension. *Tectonophysics*, 338, p. 297-314.

**Esposito E., Pece R., Porfido S. et al.** (2001) - Hydrological anomalies connected to earthquakes in southern Apennines (Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, p. 137-144.

**Favara R., Grassa F., Inguaggiato S. et al.** (2001) - Hydrogeochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along Belice Fault (Western Sicily). *Applied Geochemistry*, 16, p. 1-17.

**Fedorov E., V. Pilipenko, S. Yueda,** (2001) – Electric and magnetic fields generated by electronkinetic processes in a conductive crust. *Phys. Chem. Erath*, 31, 319.324.

**Feng C., Jiang J.** (1992) - Quantitative observation and study on rythmic abnormalities of activities in animals prior to earthquakes. *Acta Seismologica Sinica*, 5, p. 857-865.

**Finkelstein M., Brenner S., Eppelbaum L. et al.** (1998) - Identification of anomalous radon concentrations due to geodynamic processes by elimination of Rn variations caused by other factors. *Geophysical Journal International*, 133, p. 407-412.

**Firstov P. P., Shirokov V. A.** (2005) - Dynamics of molecular hydrogen and its relation to deformational processes at the Petropavlovsk-Kamchatskii geodynamic test site: evidence from observations in 1999–2003. *Geochemistry International*, 43, p. 1151-1160.

**Firstov P. P., Yakovleva V. S., Shirokov V. A. et al.** (2007) - The nexus of soil radon and hydrogen dynamics and seismicity of the northern flank of the Kuril-Kamchatka subduction zone. *Annals of Geophysics*, 50, p. 547-556.

**Fitterman D. V.** (1978) - Electrokinetic and magnetic anomalies associated with dilatant regions in a layered Earth. *Journal of Geophysical Research*, 83, p. 5923-5928.

**Fleischer R. L.** (1981) - Dislocation model for radon response to distant earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 8, p. 477-480.

**Fleischer R. L., Mogro-Campero A.** (1985) - Association of subsurface radon changes in Alaska and the northeastern United States with earthquakes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, p. 1061-1071.

**Fletcher H.** (2008) – China bloggers cook up quake conspiracies, *Times*, May 13, 2008, <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/asia/article3925096.ece>

**Flores Humanante B., Giroletti E., Idrovo J. et al.** (1990) - Radon signals related to seismic activity in Ecuador, March 1987. *Pure and Applied Geophysics*, 132, p. 505-520.

**Foppiano A. J., Ovalle E. M., Bataille K. et al.** (2008) - Ionospheric evidence of the May 1960 earthquake over Concepción? *Geofisica Internacional*, 47, p. 179-183.

**Fraser-Smith A. C., Bernardi A., McGill P. R. et al.** (1990) - Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Geophysical Research Letters*, 17, p. 1465-1468.

**Fraser-Smith A. C., McGill P. R., Helliwell R. A. et al.** (1994) - Ultra-low frequency magnetic field measurements in southern California during the Northridge earthquake of 17 January 1994. *Geophysical Research Letters*, 21, p. 2195-2198.

**Freund F.** (2002) – Charge generation and propagation in igneous rocks, *Journal of Geodynamics*, 33, 543-570

**Freund F.** (2003) – Rocks that crackle and sparkle and glow: strange pre-earthquake phenomena, *Journal of Scientific Exploration*, 17 (1), 37-71

**Freund F. T.** (2007a) - Pre-earthquake signals – Part I: Deviatoric stresses turn rocks into a source of electric currents. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, p. 535-541.

**Freund F. T.** (2007b) – Pre-earthquake signals-Part II: Flow of battery currents in the crust, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 543-548

**Freund F., A. Takeuchi, B. Lau,** (2006) Electric current streaming out of stressed ignous rocks – a step foward understanding pre-earthquake low frequency EM emissions. *Phys. Chem. Earth*, 31, 389-396.

**Freund F. T., Kulahci I. G., Cyr G. et al.** (2009) - Air ionization at rock surfaces and pre-earthquake signals. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Accepted manuscript.

**Freund F., Keefner J., Mellon J. J. et al.** (2005) – Enhanced mid-infrared emission from igneous rocks under stress, *Geophysical Research Abstracts*, 7, 09568

**Fujiwara H., Kamogawa M., Ikeda M. et al.** (2004) - Atmospheric anomalies observed during earthquake occurrences. *Geophysical Research Letters*, 31,

**Garavaglia M., Braitenberg C., Zadro M.** (1998) - Radon monitoring in a cave of North-Eastern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth*, 23, p. 949-952.

**Garavaglia M., Braitenberg C., Zadro, M. , Quattrocchi, F.** (1999) - Radon measurements in soil and water in the seismic Friuli area. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 415-422.

**Garavaglia M., Dal Moro G., Zadro M.** (1999) - Radon and tilt measurements in a seismic area: temperature effects. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25, p. 233-237.

**Geller R. J.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Earthquake prediction: a critical review. *Geophysical Journal International*, 131, p. 425-450.

**Geller R., Jackson D., Kagan Y. and F. Mulargia, F.** (1997) Earthquakes cannot be predicted. *Science*, 275, 1616-1617.

**Genzano N., Aliano C., Filizzola C. et al.** (2007) - A robust satellite technique for monitoring seismically active areas: the case of Bhuj–Gujarat earthquake. *Tectonophysics*, 431, p. 197-210.

**Gerstenberger M. C., Wiemer S., Jones L. M. et al.** (2005) - Real-time forecasts of tomorrow's earthquakes in California. *Nature*, 435, p. 328-331.

**Ghosh D., Deb A., Sengupta R. et al.** (2007) - Pronounced soil-radon anomaly - Precursor of recent earthquakes in India. *Radiation Measurements*, 42, p. 466-471.

**Ghosh D., Rab A., Sengupta R.** (2009) - Anomalous radon emission as precursor of earthquake. *Journal of Applied Geophysics*, In press, p. doi:10.1016/j.jappgeo.2009.06.001.

**Gokhberg M. B., Morgounov V. A., Yoshino T. et al.** (1982) - Experimental measurement of electromagnetic emissions possibly related to earthquakes in Japan. *Journal of Geophysical Research*, 87, p. 7824-7828.

**Gong S. J., Chen H. R., Zhang C. F. et al.** (1997) - The anomalous reaction of the geomagnetic horizontal field transfer functions before Tangshan earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 61-70.

**Gong S. J., Tian Z. L., Qi C. Z. et al.** (2001) - Short-term precursor of the geomagnetic horizontal field transfer functions (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 280-288.

**Gordienko V. A., Gordienko T. V., Krasnopistsev N. V. et al.** (2008) - Anomaly in high-frequency geoacoustic emission as a close earthquake precursor. *Acoustical Physics*, 54, p. 82-93.

**Grant R. A. & T. Halliday** (2010) Predicting the unpredictable; evidence of pre-seismic anticipatory behaviour in the common toad, *J. of Zoology*. in press doi:10.1111/j.1469-7998.2010.00700.x

**Gregoric A., Zmazek B., Vaupotic J.** (2008) - Radon concentration in thermal water as an indicator of seismic activity. *Collegium Antropologicum*, 32, p. 95-98.

**Guangcai W., Zuochen Z., Min W. et al.** (2005) - Implications of ground water chemistry and flow patterns for earthquake studies. *Groundwater*, 43, p. 478-484.

**Güleç N., Hilton D. R., de Leeuw, G. A. M. et al.** (2005) - Isotope composition of geothermal fluids along the North Anatolian Fault Zone: spatial and temporal variations in relation to seismic activities. *Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*

**Gupta S. K., Deshpande R. D.** (2003) - Dissolved helium and TDS in groundwater from Bhavnagar in Gujarat: Unrelated to seismic events between August 2000 and January 2001. *Proc. Indian Academy of Sciences (Earth and Planet. Sci.)*, 112, p. 51-60.

- Han P., Xiu J. G., Huang Q. H.** (2009) - Principal component analysis of geomagnetic diurnal variation associated with earthquakes: case study of the M6.1 Iwate-ken Nairiku Hokubu earthquake (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 1556-1563.
- Hartmann J., Levy J. K.** (2005) - Hydrogeological and gasgeochemical earthquake precursors – a review for application. *Natural Hazards*, 34, p. 279-304.
- Hauksson E., Goddard J. G.** (1981) - Radon earthquake precursor studies in Iceland. *Journal of Geophysical Research*, 86, p. 7037-7054.
- Hayakawa M., Horie T., Yoshida M. et al.** (2008) - On the ionospheric perturbation associated with the 2007 Niigata Chuetsu-oki earthquake, as seen from subionospheric VLF/LF network observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 573-576.
- Hayakawa M., Kawate R., Molchanov O. A. et al.** (1996) - Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993. *Geophysical Research Letters*, 23, p. 241-244.
- Hayakawa M., Ito T., Smirnova N.** (1999) - Fractal analysis of ULF geomagnetic data associated with the Guam earthquake on August 8, 1993. *Geophysical Research Letters*, 26, p. 2797-2800.
- Hayakawa M., Molchanov O. A., Kodama T. et al.** (2000) - On a possibility to monitor seismic activity using satellites. *Advances in Space Research*, 26, p. 993-996.
- He Y. F., Yang D. M., Chen H. R. et al.** (2009) - SNR changes of VLF radio signals detected onboard the DEMETER satellite and their possible relationship to the Wenchuan earthquake (in Chinese & translated in English). *Science in China Series D: Earth Sciences*, 39, p. 403-412.
- Hegai V. V., Kim V. P., Liu J. Y.** (2006) - The ionospheric effect of atmospheric gravity waves excited prior to strong earthquake. *Advances in Space Research*, 37, p. 653-659.
- Heinicke J., Koch U.** (2000) - Slug flow - a possible explanation for hydrogeochemical earthquake precursors at Bad Brambach, Germany. *Pure and Applied Geophysics*, 157, p. 1621-1641.
- Heinicke J., Koch U., Martinelli G.** (1993) - Simultaneous measurements of radon and CO<sub>2</sub> in spring water for earthquake prediction research. *Proceedings of the Scientific Meeting on the Seismic Protection, Venice, 12-13 July, 1993, Palazzo Balbi*
- Hirn A. & M. Laigle** (2004), Silent heralds of megathrust earthquakes? *Science*, 305 (5692), 1917-1918.
- Hoang-Trong P., Yin J.** (1995) - Les difficultés de la prédiction sismique sont-elles dues à l'absence de signes précurseurs, à la lacune d'instrumentation ou au mauvais choix des sites ? *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris*, 320, p. 85-94.

**Hobara Y., Parrot M.** (2005) - Ionospheric perturbations linked to a very powerful seismic event. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, p. 677-685.

**Holub R. F., Brady B. T.** (1981) - The effect of stress on radon emanation from rock. *Journal of Geophysical Research*, 86, p. 1776-1784.

**Horie T., Maekawa S., Yamauchi T. et al.** (2007a) - A possible effect of ionospheric perturbations associated with the Sumatra earthquake, as revealed from subionospheric very-low-frequency (VLF) propagation (NWC-Japan). *International Journal of Remote Sensing*, 28, p. 3133-3139.

**Horie T., Yamauchi T., Yoshida M. et al.** (2007b) - The wave-like structures of ionospheric perturbation associated with Sumatra earthquake of 26 December 2004, as revealed from VLF observation in Japan of NWC signals. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69, p. 1021-1028.

**Huang F. Q., Jian C. L., Tang Y. et al.** (2004) - Response changes of some wells in the mainland subsurface fluid monitoring network of China, due to the September 21, 1999, Ms7.6 Chi-Chi Earthquake. *Tectonophysics*, 390, p. 217-234.

**Huang Q., Oncel A. O., Sobolev G. A.** (2002) - Precursory seismicity changes associated with the Mw=7.4 1999 August 17 Izmit (Turkey) earthquake. *Geophysical Journal International*, 151, p. 235-242.

**Huang Q., Sobolev G. A.** (2001) - Seismic quiescence prior to the 2000 M = 6.8 Nemuro Peninsula earthquake. *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, 77, p. 1-6.

**Huang Q., Sobolev G. A.** (2002) - Precursory seismicity changes associated with the Nemuro Peninsula earthquake, January 28, 2000. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, p. 135-146.

**Huixin S., Zuhuang C.** (1983) - Geochemical characteristics of underground fluids in some active faults zones in China. *Journal of Geophysical Research*, 91, p. 12282-12290.

**ICOLD**, (2009). Reservoirs and seismicity: State of knowledge, Bulletin 137, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, International Commission on Large Dams (ICOLD), Paris, France

**Igarashi G., Wakita H., Sato T.** (1992) - Precursory and coseismic anomalies in well water levels observed for the February 2, 1992 Tokyo Bay earthquake. *Geophysical Research Letters*, 19, p. 1583-1586.

**Igarashi G., Walcita H.** (1990) - Groundwater radon anomalies associated with earthquakes. *Tectonophysics*, 180, p. 237-254.

**Ihmlé & Jordan** (1994) Teleseismic search for slow precursors to large earthquakes, *Science* 266, 1547-1551, DOI: 10.1126/science.266.5190.1547.

**Ikeya M.** (2004) - Earthquakes and animals: from folk legends to science. p. 1-296.

**Ikeya M., Matsumoto H., Huang Q. H.** (1998) - Alignment silkworms as seismic animal anomalous behavior (SAAB) and electromagnetic model of a fault: a theory and laboratory experiment. *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 365-374.

**Inan S., Akgul T., Seyis C. et al.** (2008) - Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): a search for precursors of seismic activity. *Journal of Geophysical Research*, 113,

**Italiano F., Caracausi A., Favara R. et al.** (2005) - Geochemical monitoring of cold waters during seismicity: implications for earthquake-induced modification in shallow aquifers. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16, p. 709-729.

**Italiano F., Martinelli G., Nuccio P. M.** (2001) - Anomalies of mantle-derived helium during the 1997-1998 seismic swarm of Umbria-Marche, Italy. *Geophysical Research Letters*, 28, p. 839-842.

**Ito T., Kawasaki K., Nagamine K. et al.** (1998) - Seismo-geochemical observation at a deep bore-hole well of Nagashima spa in the Yoro-Ise Bay fault zone, central Japan. *Journal of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University*, 45, p. 1-15.

**Jackson D. D.** (1996) - Hypothesis testing and earthquake prediction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3772.

**Jackson, D.D. et al.** (1997). Southern California deformation. *Science* 277, 1621-1622

**Jiang F. L., Li G. R.** (1981a) - The application of geochemical methods in earthquake prediction in China. *Geophysical Research Letters*, 8, p. 469-472.

**Jiang F. L., Li G. R.** (1981b) - Experimental studies of the mechanisms of seismo-geochemical precursors. *Geophysical Research Letters*, 8, p. 473-476.

**Jiang J. C., Jin H. Q., Lin Y. F. et al.** (1998) - The effect of magnetic field-free space on the acoustic behavior of budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 487-493.

**Jiang J., Chen H., Xu M.** (1992) - Acoustic behavior of budgerigar (*Melopsittacus undulatus* L.) and the mode of its earthquake premonitory call. *Acta Seismologica Sinica*, 5, p. 421-424.

**Jones L. M.** (1996) - Earthquake prediction: the interaction of public policy and science. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3721.

**Jousset P. & B. Chouet**, (2008). Source mechanism of long-period earthquakes in Bouillante hydrothermal system French Antilles. *IAVCEI General Assembly*, 18-22 August 2008, Reykjavik, Iceland.

**Jousset P., A. Bitri, J. Loiseau and V. Bouchot**, (2010a) Seismic ambient noise study at Bouillante geothermal system, French Antilles, *Geophys. Res. Abstr.*, 12, EGU Vienna, 3-7 May 2010.

**Jousset P., B. Bazargan-Sabet, F. Lebert, S. Bernardie and J-C. Gourry**, (2010b) Geophysical observations at cavity collapse, *Geophys. Res. Abstr.*, 12, EGU Vienna, 3-7 May 2010.

**Jousset P., C. Haberland, K. Bauer, K. Arnason, M. Weber and H. Fabriol**, (2010c). Seismic Tomography and Long-Period Earthquakes Observation and Modelling at the Hengill Geothermal Volcanic Complex, Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010

**Kanamori H.** (1996) - Initiation process of earthquakes and its implications for seismic hazard reduction strategy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3726.

**Kant I.** (1756a) – Von den Ursachen der Erderschütterungen bei der Gelegenheit des Unglücks, welches die westlichen Länder von Europa gegen das Ende des vorigen Jahres getroffen hat, *Kants Werke I*, Akademie Textausgabe, Berlin 1968, 417-428

**Kant I.** (1756b) – Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle des Erdbebens, welches an dem Ende des 1755sten Jahres einen grossen Teil der Erde erschüttert hat, *Kants Werke I*, Akademie Textausgabe, Berlin 1968, 429-462

**Kant I.** (1756c) – Fortgesetzte Betrachtung der seit einiger Zeit wahrgenommenen Erderschütterungen, *Kants Werke I*, Akademie Textausgabe, Berlin 1968, 463-472

**Kawabe I.** (1985) - Anomalous changes of CH<sub>4</sub>/Ar ratio in subsurface gas bubbles as seismogeochemical precursors at Matsuyama, Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 194-214.

**Keilis-Borok V. I.** (1996) - Intermediate-term earthquake prediction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3748.

**Keilis-Borok V. I. Shebalin P., Gabrielov A. and Turcotte D.** (2004), reverse detection of short-term earthquake precursors. *Phys. Earth Planet. Inter.* 145 (1-4), 75-85. doi :10.1016/j.pepi.2004.02.010.

**Kharatian K., Travi Y., Igoumnov V.** (2002) - Activité du gaz radon dans l'air du sol et sismicité locale : exemple du bassin de l'Arax (Arménie). *Comptes Rendus de Geosciences*, 334, p. 179-185.

**King C. Y.** (1980) - Episodic radon changes in subsurface soil gas along active faults and possible relation to earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 85, p. 3065-3078.

**King C. Y.** (1985) - Impulsive radon emanation on a creeping segment of the San Andreas Fault, California. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 340-352.

- Kirshvink J. L.** (2000) – Earthquake prediction by animals: Evolution and sensory perception, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90 (2), 312-323.
- Koch U., Heinicke J.** (1999) - The precursor effects in the mineral spring "Radonquelle", Bad Brambach prior to the January 14-19, 1997 earthquake swarm near Novy Kostel (NW Bohemia). *// Nuovo Cimento*, 22C, p. 431-436.
- Kossobolov V.G., Romashkova L. L., Keilis-Borok V. I. and J.H. Healy.** (1999). Testing earthquake prediction algorithms: statistically significant real-time prediction of the largest earthquakes in the Circum-Pacific, 1992-1997. *Phys. Earth and Plan. Int.*, 111 (3-4), 187-196.
- Kumar A., Singh S., Mahajan S. et al.** (2009) - Earthquake precursory studies in Kangra Valley of North West Himalayas, India with special emphasis on radon emission. *Applied Radiation and Isotopes*, Accepted Manuscript,
- Kümpel H. J.** (1991) - Pore-pressure variation as a precursory phenomenon: the need for and a list of supplementary data. *Tectonophysics*, 193, p. 377-383.
- Kao H. S. J. Shan, H. Dragert, G. Rogers, J. F. Cassidy, K. Ramachandran** (2005), A wide depth distribution of seismic tremors along the northern Cascadia margin, *Nature*, 436, 841-844.
- Kuo T., Fan K., Chen W. et al.** (2006) Radon anomaly at the Antung hot spring before the Taiwan M6.8 Chengkung earthquake. *Proceedings of the 31st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 30-February 1, 2006*
- Kushwah V., Singh V., Singh B.** (2009) - Ultra low frequency (ULF) amplitude anomalies observed at Agra (India) and their association with regional earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, p. 367-372.
- Lachenbruch, A.H., & Sass, J.H.** (1980) Heat flow and energetics of the San Andreas fault zone. *J. Geophys. Res.* 85, 6185-6222.
- Lachenbruch A. H., & Sass J. H.** (1992) - Heat flow from Cajon Pass, fault strength, and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 97, p. 4995-5015.
- Larkina V., Migulin V., Molchanov O., Kharkov I., Inchin A. and Schvetcoca V.** (1989). Some statistical results on very low frequency radiowave emissions in the upper ionosphere over earthquake zones. *Phys. Earth Plan. Inter.*, 57, 100-109.
- Le Ravalec M., Gueguen Y., Chelidze T.** (1996) - Magnitude of velocity anomalies prior to earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 101, p. 11217-11223.
- Li J. Z., Bai Z. Q., Chen W. S. et al.** (2003) - Strong earthquakes can be predicted: a multidisciplinary method for strong earthquake prediction (in English). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, p. 703-712.

**Lin C. H.** (2009) - Foreshock characteristics in Taiwan: Potential earthquake warning. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, p. 655-662.

**Linde A. T., M. J. S. Jonhston, R. L. Guyther, R. G.Bilham** (1996), A slow earthquake sequence on the San Andreas fault, *Nature*, 383(6595), 65-68.

**Liperovsky V. A., Pokhotelov O. A., Liperovskaya E. V. et al.** (2000) - Modification of sporadic E-layers caused by seismic activity. *Surveys in Geophysics*, 21, p. 449-486.

**Liu C. C., Linde A. T., Sacks I. S.** (2009) - Slow earthquakes triggered by typhoons. *Nature*, 460, p. 292-292.

**Liu D. F., Peng K. Y., Liu W. H. et al.** (1999) - Thermal omens before earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 710-715.

**Liu J. Y., Chen Y. I., Pulinets S. A. et al.** (2000) - Seismo-ionospheric signatures prior to M>6.0 Taiwan earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 27, p. 3113-3116.

**Liu K. K., Yui T. F., Yeh Y. H. et al.** (1985) - Variations of radon content in groundwaters and possible correlation with seismic activities in Northern Taiwan. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 231-244.

**Lockner D. A., Byerlee J. D.** (1995) - An earthquake instability model based on faults containing high fluid-pressure compartments. *Pure and Applied Geophysics*, 145, p. 717-745.

**Maeda K., Tomisaka N.** (1996) - Decametric radiation at the time of the Hyogo-Ken Nanbu earthquake near Kobe in 1995. *Geophysical Research Letters*, 23, p. 2433-2436.

**Mao T. E., Fan S. Y., Yu S. R. et al.** (1998) - Features and physical process of the dynamic evolution pattern of ground resistivity precursor front. *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 589-596.

**Main I.** (1999) Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal? *Department of Geology and Geophysics, University of Edinburgh, Edinburgh, UK*.

**Manshour P., Saberi S., Sahimi M. et al.** (2009) - Turbulencelike behavior of seismic time series. *Physical Review Letters*, 102, p. 014101/1-4.

**Mavrodiev S. C.** (2003) - The electromagnetic fields under, on and over Earth surface as "when, where and how" earthquake precursor. *Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Workshop on Gujarat Earthquake, Kanpur, India, January 2003*,

**Mazzotti, S., and J. Adams** (2004), Variability of near-term probability for the next great earthquake on the Cascadia subduction zone, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, 1954-1959.

- Merifield P. M., Lamar D. L.** (1981) - Anomalous water-level changes and possible relation with earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 8, p. 437-440.
- Mignan A.** (2008) - Non-Critical Precursory Accelerating Seismicity Theory (NC PAST) and limits of the power-law fit methodology. *Tectonophysics*, 452, p. 42–50.
- Miklavcic I., Radolic V., Vukovic B. et al.** (2008) - Radon anomaly in soil gas as an earthquake precursor. *Applied Radiation and Isotopes*, 66, p. 1459-1466.
- Mizutani H., T. Ishido, T. Yokokura, S. Ohnishi** (1976) – Electrokinetic phenomena associated with earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 3, 365-368.
- Mogi K., Mochizuki H., Kurokawa Y.** (1989) - Temperature changes in an artesian spring at Usami in the Izu Peninsula (Japan) and their relation to earthquakes. *Tectonophysics*, 159, p. 95-108.
- Molchanov O. A., Hayakawa M., Oudoh T. et al.** (1998) - Precursory effects in the subionospheric VLF signals for the Kobe earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, p. 239-248.
- Molchanov O., Fedorov E., Schekotov A. et al.** (2004) - Lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling as governing mechanism for preseismic short-term events in atmosphere and ionosphere. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, p. 757-767.
- Morgounov V. A., Malzev S. A.** (2007) - A multiple fracture model of pre-seismic electromagnetic phenomena. *Tectonophysics*, 431, p. 61-72.
- Mukherji P.** (1999) - A brief description on radon monitoring in India in some seismically sensitive areas. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 509-522.
- Murru M., Console R., Falcone G.** (2009) - Real time earthquake forecasting in Italy. *Tectonophysics*, 470, p. 214-223.
- Muto F., Yoshida M., Horie T. et al.** (2008) - Detection of ionospheric perturbations associated with Japanese earthquakes on the basis of reception of LF transmitter signals on the satellite DEMETER. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 135-141.
- Nadeau R. M. and T. V. McEvilly** (2004), Periodic pulsing of characteristic microearthquake on the San Andreas fault, *Science*, 303 (5655), 220-222.
- Nagao T., Enomoto Y., Fujinawa Y. et al.** (2002) - Electromagnetic anomalies associated with 1995 Kobe earthquake. *Journal of Geodynamics*, 33, p. 401-411.
- Novelo-Casanova D. A.** (2005) - The forecasting of the 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquake (Mw=8): A case history. *Geofisica Internacional*, 44, p. 341.

**Obara, K.** (2002), Non volcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681.

**Ogawa T., Oike K., Miura T.** (1985) - Electromagnetic radiations from rocks. *Journal of Geophysical Research*, 90, p. 6245-6249.

**Oki Y., Hiraga S.** (1988) - Groundwater monitoring for earthquake prediction by an amateur network in Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 211-240.

**Omori Y., Nagahama H., Kawada Y. et al.** (2009) - Preseismic alteration of atmospheric electrical conditions due to anomalous radon emanation. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, p. 435-440.

**Ondoh T.** (2009) - Investigation of precursory phenomena in the ionosphere, atmosphere and groundwater before large earthquakes of  $M > 6.5$ . *Advances in Space Research*, 43, p. 214-223.

**Ondoh T.** (2003) - Anomalous sporadic-E layers observed before M1., Hyogo-Ken Nanbu earthquake; terrestrial gas emanation model. *Advances in Polar Upper Atmosphere Research*, 17, p. 96-108.

**Ondoh T.** (2004) - Anomalous sporadic-E ionization before a great earthquake. *Advances in Space Research*, 34, p. 1830-1835.

**Ondoh T.** (1998) - Ionospheric disturbances associated with great earthquake of Hokkaido southwest coast, Japan of July 12, 1993. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105,

**Padron E., Melian G., Marrero R. et al.** (2008) - Changes in the diffuse CO<sub>2</sub> emission and relation to seismic activity in and around El Hierro, Canary Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 165, p. 95-114.

**Parrot M.** (1994) - Statistical study of ELF VLF emissions recorded by a low-altitude satellite during seismic events. *Journal of Geophysical Research*, 99, p. 23339-23347.

**Perez N. M., Hernandez P. A., Padron E. et al.** (2007) - Precursory subsurface 222Rn and 220Rn degassing signatures of the 2004 seismic crisis at Tenerife, Canary Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 164, p. 2431-2448.

**Planinic J., Radolic V., Vukovic B.** (2004) - Radon as an earthquake precursor. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 530, p. 568-574.

**Plastino W., Povinec P., De Luca G. et al.** (2009) - Uranium groundwater anomalies and L'Aquila earthquake, 6th April 2009 (Italy). *Journal of Environmental Radioactivity*, In press, p. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.08.009.

**Poitras F., Dundas S. H., Toutain J. P. et al.** (1998) - Springwater geochemical response to a seismic event. *Mineralogical Magazine*, 62A, p. 1192-1193.

- Poirrasson F., Dundas S. H., Toutain J. P. et al.** (1999) - Earthquake-related elemental and isotopic lead anomaly in a springwater. *Earth and Planetary Science Letters*, 169, p. 269-276.
- Pulinets S.** (2004) - Ionospheric precursors of earthquakes: recent advances in theory and practical applications. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15, p. 413-435.
- Qian S. Q., Lu Z., Ren K. X.** (1998) - Experimental study on the mechanism of non-synchronism of seismo-electromagnetic radiation precursors (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 623-629.
- Qiang Z. J., Xu X. D., Dian C. G.** (1997) - Thermal infrared anomaly precursor of impending earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, 149, p. 159-171.
- Quattrocchi F., Calcara M.** (1998) - Test-sites for earthquake prediction experiments within the Colli Albani region. *Physics and Chemistry of the Earth*, 23, p. 915-920.
- Ramola R. C., Prasad Y., Prasad G. et al.** (2008) - Soil-gas radon as seismotectonic indicator in Garhwal Himalaya. *Applied Radiation and Isotopes*, 66, p. 1523-1530.
- Reasenberg P. A.** (1999) - Foreshock occurrence before large earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 104, p. 4755-4768.
- Reddy D. V., Sukhija B. S., Nagabhushanam P. et al.** (2004) - A clear case of radon anomaly associated with a micro-earthquake event in a stable continental region. *Geophysical Research Letters*, 31,
- Reid, H. F.** (1910). The Mechanics of the Earthquake, Vol. II of The California Earthquake of April 18, 1906, *Report of the State Earthquake Investigation Commission*, A.C. Lawson, Chairman, Carnegie Institution of Washington Publication 87, 192 pp. (reprinted 1969)
- Reimer G. M.** (1985) - Prediction of Central California earthquakes from soil-gas Helium fluctuations. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 369-375.
- Rezapour N., Bidokhti A. A., Fattahi M.** (2008) - Thermal properties of the ground as an earthquake precursor. *2nd IASME / WSEAS International Conference on Geology and Seismology (GES '08)*, Cambridge, UK, February 23-25, 2008p. 63-65.
- Richards J. A.** (2008). Radio wave propagation: an introduction for the non-specialist. Springer, 127 pp.
- Richon P., Sabroux J. C., Halbwachs M. et al.** (2003) - Radon anomaly in the soil of Taal volcano, the Philippines: a likely precursor of the M 7.1 Mindoro earthquake (1994). *Geophysical Research Letters*, 30, p. 34/1-4.
- Richon P., Bernard P., Labeled V. et al.** (2007) - Results of monitoring 222Rn in soil gas of the Gulf of Corinth region, Greece. *Radiation Measurements*, 42, p. 87-93.

**Rigo, A.** (2010) – Precursors and fluid flows in the case of the 1996, ML=5.2 Saint-Paul-de-Fenouillet earthquake (Pyrénées, France): a complete pre-, co and post seismic scenario. *Tectonophysics*, Vol. 480, Issues 1-4, 109-118.

**Rikitake T.** (1975) - Dilatancy model and empirical formulas for an earthquake area. *Pure and Applied Geophysics*, 113, p. 141-147.

**Rikitake T.** (1976) – Earthquake Prediction, *Elsevier Amsterdam*, 357pp

**Ripepe M., Piccinni D., Chiaraluce L.** (2000) - Foreshock sequence of September 26th 1997 Umbria-Marche earthquakes. *Journal of Seismology*, 4, p. 387-399.

**Roeloffs E., Quilty E.** (1997) - Water level and strain changes preceding and following the August 4, 1985 Kettleman Hills, California, earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 149, p. 21-60.

**Rogers, G. & H. Dragert** (2003), Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip, *Science*, 300, 1942-1943.

**Romashkova L. L.** (2009) - Global-scale analysis of seismic activity prior to 2004 Sumatra-Andaman mega-earthquake. *Tectonophysics*, 470, p. 329-344.

**Rozhnoi A., Solovieva M. S., Molchanov O. A. et al.** (2004) - Middle latitude LF (40 kHz) phase variations associated with earthquakes for quiet and disturbed geomagnetic conditions. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, p. 589-598.

**Rozhnoi A., Solovieva M., Molchanov O. et al.** (2007) - Observation evidences of atmospheric gravity waves induced by seismic activity from analysis of subionospheric LF signal spectra. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, p. 625-628.

**Ruan A. G., Zhao H. Y.** (2000) - Recognize seismic anomaly of telluric field by data projection vertical to the polarization (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 171-175.

**Ruegg, J.-C., M. Olcay, and D. Lazo** (2001), Co-, post- and pre (?)-seismic displacements associated with the Mw8.4 Southern Peru earthquake of 23 June 2001 from continuous GPS measurements, *Seismol. Res. Lett.*, 72, 673-678.

**Saraf A. K., Rawat V., Choudhury S. et al.** (2009) - Advances in understanding of the mechanism for generation of earthquake thermal precursors detected by satellites. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, in press,

**Sarkar S., Gwal A. K., Parrot M.** (2007) - Ionospheric variations observed by the DEMETER satellite in the mid-latitude region during strong earthquakes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69, p. 1524-1540.

**Satake H., Ohashi M., Hayashi Y.** (1985) - Discharge of H<sub>2</sub> from the Atotsugawa and Ushikubi Faults, Japan, and its relation to earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 185-193.

- Sato H.** (1988) - Temporal change in scattering and attenuation associated with the earthquake occurrence - a review of recent studies on coda waves. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 465-497.
- Sato M., Sutton A. J., McGee K. A. et al.** (1986) - Monitoring of hydrogen along the San Andreas and Calaveras Faults in Central California in 1980-1984. *Journal of Geophysical Research*, 91, p. 12315-12326.
- Schaal R. B.** (1988) - An evaluation of the animal-behavior theory for earthquake prediction. *California Geology*, 41.
- Scholtz Christopher H.**, Earthquake prediction: feasible and useful? *Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, New York, USA*
- Serebryakova O. N., Bilichenko S. V., Chmyrev V. M. et al.** (1992) - Electromagnetic ELF radiation from earthquake regions as observed by low-altitude satellites. *Geophysical Research Letters*, 19, p. 91-94.
- Sgrigna V., Buzzi A., Conti L. et al.** (2007) - Seismo-induced effects in the near-earth space: Combined ground and space investigations as a contribution to earthquake prediction. *Tectonophysics*, 431, p. 153-171.
- Sgrigna V., Carota L., Conti L. et al.** (2005) - Correlations between earthquakes and anomalous particle bursts from SAMPEX/PET satellite observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, p. 1448-1462.
- Sheldrake R.** (2003) - The Sense of Being Stared at: And Other Unexplained Powers of the Human Mind, Three Rivers Press, 384 pages
- Sheldrake R.** (1999) - Dogs That Know When Their Owners Are Coming Home: And Other Unexplained Powers of Animals, Three Rivers Press, 368 pages;
- Shapiro M. H., Melvin J. D., Tombrello T. A. et al.** (1980) - Automated radon monitoring at a hard-rock site in the Southern California transverse ranges. *Journal of Geophysical Research*, 85, p. 3058-3064.
- Sharma D. K., Sharma P. K.** (2009) - Ionospheric response to the phenomena occurring below and above it: a summary. *Atmosfera*, 22, p. 51-67.
- Sieh K.** (1996) - The repetition of large-earthquake ruptures. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3764.
- Silver P. G. & H. Wakita,** (1996). A Search for Earthquake Precursors *Science* **273**, 77. DOI: 10.1126/science.273.5271.77
- Sobolev G. A.** (2001) - The examples of earthquake preparation in Kamchatka and japan. *Tectonophysics*, 338, p. 269-279.

**Sobolev G. A., Slavina L. B.** (1977) - The spatial and temporal changes in Vp/Vs before strong earthquakes in Kamchatka. *Pure and Applied Geophysics*, 115, p. 1047-1060.

**Sobolev G. A., Huang Q., Nagao T.** (2002) - Phases of earthquake's preparation and by chance test of seismic quiescence anomaly. *Journal of Geodynamics*, 33, p. 413-424.

**Song S. R., Ku W. Y., Chen Y. L. et al.** (2003) - Groundwater chemical anomaly before and after the Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 14, p. 311-320.

**Song Z. P., Mei S. R., Yin X. C.** (1999) - On seismic strengthening area before strong and great shocks and its mechanism (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 298-305.

**Sornette D.** (1999) - Earthquakes: from chemical alteration to mechanical rupture. *Physics Reports*, 313, p. 237-292.

**Stakheev Y., Bakaldin Y., Tatsy Y. et al.** Changes in flow of mercury vapor from Earth's crust as earthquake's precursor. *EGU 2004*

**Steele S. R.** (1985) - Anomalous radon emanation at local and regional distances preceding earthquakes in the new Madrid Seismic Zone and adjacent areas of the Central Mid-Continent of North America, 1981-84. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 353-368.

**Steele S. R.** (1981) - Radon and hydrologic anomalies on the Rough Creek Fault: possible precursors to the M5.1 Eastern Kentucky earthquake, 1980. *Geophysical Research Letters*, 8, p. 465-468.

**Stejskal V., Kasperek L., Kopylova G. N. et al.** (2009) - Precursory groundwater level changes in the period of activation of the weak intraplate seismic activity on the NE margin of the Bohemian Massif (central Europe) in 2005. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 53, p. 215-238.

**Stejskal V., Malek J., Novotny O.** (2008) - Variations in discharge and temperature of mineral springs at the Frantiskovy Lazne spa, Czech Republic, during a nearby earthquake swarm in 1985/1986. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 52, p. 589-606.

**Suer S., Gulec N., Mutlu H. et al.** (2008) - Geochemical monitoring of geothermal waters (2002–2004) along the North Anatolian Fault Zone, Turkey: spatial and temporal variations and relationship to seismic activity. *Pure and Applied Geophysics*, 165, p. 17-43.

**Sugisaki R.** (1985) - Relation between hydrogen emission and seismic activities. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 175-184.

- Sugisaki R., Ito T., Nagamine K. et al.** (1996) - Gas geochemical changes at mineral springs associated with the 1995 southern Hyogo earthquake ( $M = 7.2$ ), Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 139, p. 239-249.
- Taran Y. A., Ramirez-Guzman A., Bernard R. et al.** (2005) - Seismic-related variations in the chemical and isotopic composition of thermal springs near Acapulco, Guerrero, Mexico. *Geophysical Research Letters*, 32,
- Thomas D.** (1988) - Geochemical precursors to seismic activity. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 241-266.
- Torkar D., Zmazek B., Vaupotić J., Kobal I.** (2010), Application of artificial neural networks in simulating radon levels in soil gas, *Chemical Geology* 270, 1-8.
- Toutain J. P., Munoz M., Poitrasson F. et al.** (1997) - Springwater chloride ion anomaly prior to a  $M=5.2$  Pyrenean earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 149, p. 113-119.
- Tramutoli V., Cuomo V., Filizzola C. et al.** (2005) - Assessing the potential of thermal infrared satellite surveys for monitoring seismically active areas: the case of Kocaeli (Izmit) earthquake, August 17, 1999. *Remote Sensing of Environment*, 96, p. 409-426.
- Tronin A. A., Biagi P. F., Molchanov O. A., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2004a) – Temperature variations related to earthquakes from simultaneous observation at the ground station and by satellites in Kamchatka area, *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 501-506
- Tronin A. A., Molchanov O. A., Biagi P. F.** (2004b) – Thermal anomalies and well observations in Kamchatka, *International Journal of Remote Sensing*, 25, 13, 2649-2655
- Tsunomori F., Kuo T.** (2009) - A mechanism for radon decline prior to the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake in Japan. *Radiation Measurements*, Accepted manuscript,
- Ui H., Moriuchi H., Takemura Y. et al.** (1988) - Anomalously high radon discharge from the Atotsugawa fault prior to the western Nagano Prefecture earthquake ( $M 6.8$ ) of September 14, 1984. *Tectonophysics*, 152, p. 147-152.
- Utkin V. I., Mamyrov E., Kan M. V. et al.** (2006) - Radon monitoring in the Northern Tien Shan with application to the process of tectonic earthquake nucleation. *Physics of the Solid Earth*, 42, p. 775-784.
- Uyeda S.** (2000) – In defence of VAN's earthquake prediction, *EOS*, 81,3.
- Uyeda S., Nagao T., Kamogawa M.** (2009) - Short-term earthquake prediction: current status of seismo-electromagnetics. *Tectonophysics*, 470, p. 205-213.

**Varotsos P. A., Sarlis N. V., Skordas E. S.** (2006) - On the recent advances in the study of seismic electric signals (VAN method). *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, p. 189-197.

**Varshal G. M., Sobolev G. A., Barsukov V. L. et al.** (1985) - Separation of volatile components from rocks under mechanical loading as the source of hydrogeochemical anomalies preceding earthquakes (results of a large-scale model experiment). *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 463-477.

**Virk H. S.** (1999) - Radon/helium studies for earthquake prediction in NW Himalaya. // *Nuovo Cimento*, 22C, p. 423-429.

**Virk H. S., Singh B.** (1994) - Radon recording of Uttarkashi earthquake. *Geophysical Research Letters*, 21, p. 737-740.

**Virk H. S., Walia V., Kumar N.** (2001) - Helium/radon precursory anomalies of Chamoli earthquake, Garhwal Himalaya, India. *Journal of Geodynamics*, 31, p. 201-210.

**Vorobieva I. A., Panza G. F.** (1993) - Prediction of the occurrence of related strong earthquakes in Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 141, p. 25-41.

**Wakita H.** (1996) - Geochemical challenge to earthquake prediction. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 93, p. 3781-3786.

**Wakita H., Nakamura Y., Sano Y.** (1988) - Short-term and intermediate-term geochemical precursors. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 267-278.

**Walia V., Virk H. S., Bajwa B. S.** (2006) - Radon precursory signals for some earthquakes of magnitude > 5 occurred in N-W Himalaya: an overview. *Pure and Applied Geophysics*, 136, p. 711-721.

**Walia V., Virk H. S., Bajwa B. S. et al.** (2003) - Relationships between radon anomalies and seismic parameters in N-W Himalaya, India. *Radiation Measurements*, 36, p. 393-396.

**Walia V., Yang T. F., Hong W. L. et al.** (2009, Accepted manuscript) - Geochemical variation of soil-gas composition for fault trace and earthquake precursory studies along the Hsincheng fault in NW Taiwan. *Applied Radiation and Isotopes*

**Wang Q. L., Wang W. P., Lang W. F. et al.** (1998) - Stress-dissipative heat geotemperature precursor mechanism of earthquakes (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 615-621.

**Wang X. Q., Zheng Z. B., Qian J. D. et al.** (1999) - Research on the fuzzy relationship between the precursory anomalous elements and earthquake elements (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 676-683.

- Wattananikorn K., Kanaree M., Wiboolsake S.** (1998) - Soil gas radon as an earthquake precursor: some considerations on data improvement. *Radiation Measurements*, 29, p. 593-598.
- Wegler U & C. Sens-Schönefelder** (2006). Passive image interferometry and seasonal variations of seismic velocities at Merapi Volcano, Indonesia, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L21302, doi:10.1029/2006GL027797.
- Wei L. J., Guo J. F., Cai H. et al.** (2008) - Satellite Thermal Infrared Anomaly:a Short-term and Impending Earthquake Precursor before the Wenchuan Ms8.0 Earthquake in Sichuan, China (in Chinese). *Acta Geoscientifica Sinica*, 29, p. 583-591.
- Wei L. J., Guo J. F., Liu J. H. et al.** (2009) - Satellite Thermal Infrared Earthquake Precursor to the Wenchuan Ms8.0 Earthquake in Sichuan, China, and its Analysis on Geo-dynamics (in English). *Acta Geologica Sinica*, 83, p. 767-775.
- Weinlich F. H., Faber E., Boušková A. et al.** (2006) - Seismically induced variations in Mariánské Lázně fault gas composition in the NW Bohemian swarm quake region, Czech Republic — A continuous gas monitoring. *Tectonophysics*, 421, p. 89-110.
- Wen X., Yi G., Xu X.** (2007) - Background and precursory seismicities along and surrounding the Kunlun fault before the Ms8.1, 2001, Kokoxili earthquake, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, p. 63-72.
- Whitehead N. E., Lyon G. L.** (1999) - Application of a new method of searching for geochemical changes related to seismic activity. *Applied Radiation and Isotopes*, 51, p. 461-474.
- Wyss M., Booth D. C.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-The IASPEI procedure for the evaluation of earthquake precursors. *Geophysical Journal International*, 131, p. 423-424.
- Yang T. F., Fu C. C., Walia V. et al.** (2006) - Seismo-geochemical variations in SW Taiwan: multi-parameter automatic gas monitoring results. *Pure and Applied Geophysics*, 163, p. 693-709.
- Yasuoka Y., Igarashi G., Ishikawa T. et al.** (2006) - Evidence of precursor phenomena in the Kobe earthquake obtained from atmospheric radon concentration. *Applied Geochemistry*, 21, p. 1064-1072.
- Yasuoka Y., Kawada Y., Nagahama H. et al.** (2009) - Preseismic changes in atmospheric radon concentration and crustal strain. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, p. 431-434.
- Yoshino T., Tomizawa I., Sugimoto T.** (1993) - Results of statistical analysis of low-frequency seismogenic EM emissions as precursors to earthquakes and volcanic eruptions. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 77, p. 21-31.

**Zhang G. M., Zhu L. R., Song X. D. et al.** (1999) - Prediction of the 1997 strong earthquakes in Jiashi, Xinjiang, China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, p. 1171-1183.

**Zhang W.** (1999) - Research on relationships between escaping radon and stress-strain of the crust. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 437-442.

**Zhang X. M., Zhai Y. Z., Guo X. Z. et al.** (2007) - Tidal wave anomalies of geoelectrical field before remote earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 29, p. 48-58.

**Zmazek B., Zivcic M., Todorovski L. et al.** (2005) - Radon in soil gas: how to identify anomalies caused by earthquakes. *Applied Geochemistry*, 20, p. 1106-1119.

**Zoback, M.L. et al.** (1987) New evidence on the state of stress of the San Andreas fault zone. *Science* 238, 1105-1111.

**Zúñiga F. R., Wiemer S.** (1999) - Seismicity patterns: are they always related to natural causes? *Pure and Applied Geophysics*, 155, p. 713.

**Zúñiga F. R., Wyss M.** (2001) - Most and Least Likely Locations of Large to Great Earthquakes Along the Pacific Coast of Mexico, Estimated from Local Recurrence Times Based on b-values. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91, p. 1717.

## Annexe 1

### Liste USGS des seismes majeurs de Mw > 7.0

<a href="#">1960 05 22 - Chile - M 9.5</a>	<a href="#">1996 06 10 - Andreanof Islands, Alaska - M 7.9</a>
<a href="#">1964 03 28 - Prince William Sound, Alaska - M 9.2</a>	<a href="#">1986 05 07 - Andreanof Islands, Alaska - M 7.9</a>
<a href="#">2004 12 26 - Sumatra-Andaman Islands - M 9.1</a>	<a href="#">1976 08 16 - Mindanao, Philippines - M 7.9</a>
<a href="#">1952 11 04 - Kamchatka - M 9.0</a>	<a href="#">1970 05 31 - Chimbote, Peru - M 7.9</a>
<a href="#">1868 08 13 - Arica, Peru (now Chile) - M 9.0</a>	<a href="#">1960 05 21 - Arauco Peninsula, Chile - M 7.9</a>
<a href="#">1700 01 26 - Cascadia Subduction Zone - M 9.0</a>	<a href="#">1957 07 28 - Guerrero, Mexico - M 7.9</a>
<a href="#">1906 01 31 - Off the Coast of Esmeraldas, Ecuador - M 8.8</a>	<a href="#">1954 03 29 - Spain - M 7.9</a>
<a href="#">1965 02 04 - Rat Islands, Alaska - M 8.7</a>	<a href="#">1942 08 06 - Guatemala - M 7.9</a>
<a href="#">1755 11 01 - Lisbon, Portugal - M 8.7</a>	<a href="#">1931 02 02 - Hawke's Bay, New Zealand - M 7.9</a>
<a href="#">1730 07 08 - Valparaiso, Chile - M 8.7</a>	<a href="#">1923 09 01 - Kanto (Kwanto), Japan - M 7.9</a>
<a href="#">2005 03 28 - Northern Sumatra, Indonesia - M 8.6</a>	<a href="#">1905 09 09 - Calabria, Italy - M 7.9</a>
<a href="#">1957 03 09 - Andreanof Islands, Alaska - M 8.6</a>	<a href="#">1899 09 04 - Cape Yakataga, Alaska - M 7.9</a>
<a href="#">1950 08 15 - Assam - Tibet - M 8.6</a>	<a href="#">1868 04 03 - Kau District, Island of Hawaii - M 7.9</a>
<a href="#">2007 09 12 - Southern Sumatra, Indonesia - M 8.5</a>	<a href="#">1857 01 09 - Fort Tejon, California - M 7.9</a>
<a href="#">1963 10 13 - Kuril Islands - M 8.5</a>	<a href="#">2009 07 15 - Off West Coast of the South Island, New Zealand - M 7.8</a>
<a href="#">1938 02 01 - Banda Sea, Indonesia - M 8.5</a>	<a href="#">2007 12 09 - South of the Fiji Islands - M 7.8</a>
<a href="#">1923 02 03 - Kamchatka - M 8.5</a>	<a href="#">2005 06 13 - Tarapaca, Chile - M 7.8</a>
<a href="#">1922 11 11 - Chile-Argentina Border - M 8.5</a>	<a href="#">2003 11 17 - Rat Islands, Aleutian Islands, Alaska - M 7.8</a>
<a href="#">1896 06 15 - Sanriku, Japan - M 8.5</a>	<a href="#">2000 11 16 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 7.8</a>
<a href="#">1687 10 20 - Lima, Peru - M 8.5</a>	<a href="#">1997 12 05 - Near East Coast of Kamchatka - M 7.8</a>
<a href="#">2001 06 23 - Near the Coast of Peru - M 8.4</a>	<a href="#">1997 10 14 - South of Fiji Islands - M 7.8</a>
<a href="#">1933 03 02 - Sanriku, Japan - M 8.4</a>	<a href="#">1993 08 08 - South of the Mariana Islands - M 7.8</a>
<a href="#">1905 07 09 - Mongolia - M 8.4</a>	<a href="#">1992 12 12 - Flores Region, Indonesia - M 7.8</a>
<a href="#">2006 11 15 - Kuril Islands - M 8.3</a>	<a href="#">1987 11 30 - Gulf of Alaska - M 7.8</a>
<a href="#">2003 09 25 - Hokkaido, Japan Region - M 8.3</a>	<a href="#">1985 03 03 - offshore Valparaiso, Chile - M 7.8</a>
<a href="#">1958 11 06 - Kuril Islands - M 8.3</a>	<a href="#">1978 09 16 - Iran - M 7.8</a>
<a href="#">1903 08 11 - Southern Greece - M 8.3</a>	<a href="#">1969 02 28 - Portugal-Morocco area - M 7.8</a>
<a href="#">1897 06 12 - Assam, India - M 8.3</a>	<a href="#">1965 03 14 - Hindu Kush, Afghanistan - M 7.8</a>
<a href="#">1877 05 10 - Offshore Tarapaca, Chile - M 8.3</a>	<a href="#">1939 01 25 - Chillan, Chile - M 7.8</a>
<a href="#">1843 02 08 - Leeward Islands - M 8.3</a>	<a href="#">1939 12 26 - Erzincan, Turkey - M 7.8</a>
<a href="#">1994 06 09 - Bolivia - M 8.2</a>	<a href="#">1932 06 18 - Colima, Mexico - M 7.8</a>
<a href="#">1943 04 06 - Illapel - Salamanca, Chile - M 8.2</a>	<a href="#">1931 01 15 - Oaxaca, Mexico - M 7.8</a>
<a href="#">1942 08 24 - Off the coast of central Peru - M 8.2</a>	<a href="#">1929 03 07 - Fox Islands, Aleutian Islands, Alaska - M 7.8</a>
<a href="#">1940 05 24 - Callao, Peru - M 8.2</a>	<a href="#">1920 12 16 - Haiyuan, Ningxia, China - M 7.8</a>
<a href="#">1938 11 10 - Shumagin Islands, Alaska - M 8.2</a>	<a href="#">1912 08 09 - Murefte, Turkey (Ottoman Empire) - M 7.8</a>
<a href="#">1908 12 12 - Off the Coast of Central Peru - M 8.2</a>	<a href="#">1911 01 03 - Chong-Kemin, Kyrgyzstan - M 7.8</a>
<a href="#">1906 08 17 - Valparaiso, Chile - M 8.2</a>	<a href="#">1906 04 18 - San Francisco, California - M 7.8</a>
<a href="#">1835 02 20 - Concepcion, Chile - M 8.2</a>	<a href="#">1892 02 24 - Imperial Valley, California - M 7.8</a>
<a href="#">1821 07 10 - Camana, Peru - M 8.2</a>	<a href="#">1812 01 23 - New Madrid Region - M 7.8</a>
<a href="#">2007 01 13 - East of the Kuril Islands - M 8.1</a>	<a href="#">2008 07 05 - Sea of Okhotsk - M 7.7</a>
<a href="#">2007 04 01 - Solomon Islands - M 8.1</a>	<a href="#">2007 11 14 - Antofagasta, Chile - M 7.7</a>
<a href="#">2004 12 23 - North of Macquarie Island - M 8.1</a>	<a href="#">2006 07 17 - South of Java, Indonesia - M 7.7</a>
<a href="#">1998 03 25 - Balleny Islands Region - M 8.1</a>	<a href="#">2002 08 19 - Fiji Islands - M 7.7</a>
<a href="#">1974 10 03 - Near the Coast of Central Peru - M 8.1</a>	<a href="#">2002 08 19 - Fiji Islands - M 7.7</a>
<a href="#">1966 10 17 - Near the Coast of Peru - M 8.1</a>	<a href="#">2001 01 13 - El Salvador - M 7.7</a>
<a href="#">1957 12 04 - Gobi-Alтай, Mongolia - M 8.1</a>	<a href="#">1990 07 16 - Luzon, Philippine Islands - M 7.7</a>
<a href="#">1949 08 22 - Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada - M 8.1</a>	<a href="#">1988 03 06 - Gulf of Alaska - M 7.7</a>
<a href="#">1946 12 20 - Nankaido, Japan - M 8.1</a>	<a href="#">1980 10 10 - El Asnam (formerly Orleansville), Algeria - M 7.7</a>
<a href="#">1946 04 01 - Unimak Island, Alaska - M 8.1</a>	<a href="#">1958 07 10 - Lituya Bay, Alaska - M 7.7</a>
<a href="#">1944 12 07 - Tonankai, Japan - M 8.1</a>	<a href="#">1911 06 07 - Off Guerrero, Mexico - M 7.7</a>
<a href="#">1934 01 15 - Bihar, India - Nepal - M 8.1</a>	<a href="#">1907 04 15 - Guerrero, Mexico - M 7.7</a>
<a href="#">1932 06 03 - Jalisco, Mexico - M 8.1</a>	<a href="#">1900 10 09 - Kodiak Island, Alaska - M 7.7</a>
<a href="#">1811 12 16 - New Madrid Region - M 8.1</a>	<a href="#">1812 03 26 - Caracas, Venezuela - M 7.7</a>
<a href="#">2009 09 29 - Samoa Islands region - M 8.0</a>	<a href="#">1619 02 14 - Trujillo, Peru - M 7.7</a>
<a href="#">2007 08 15 - Near the Coast of Central Peru - M 8.0</a>	<a href="#">2009 03 19 - Tonga region - M 7.6</a>
<a href="#">2006 05 03 - Tonga - M 8.0</a>	<a href="#">2009 01 03 - Near the North Coast of Papua, Indonesia - M 7.6</a>
<a href="#">2000 11 16 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 8.0</a>	<a href="#">2006 04 20 - Koryakia, Russia - M 7.6</a>
<a href="#">1985 09 19 - Michoacan, Mexico - M 8.0</a>	<a href="#">2006 01 27 - Banda Sea - M 7.6</a>
<a href="#">1970 07 31 - Colombia - M 8.0</a>	<a href="#">2005 10 08 - Pakistan - M 7.6</a>
<a href="#">1946 08 04 - Samana, Dominican Republic - M 8.0</a>	<a href="#">2005 09 09 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 7.6</a>
<a href="#">1945 11 27 - Makran Coast, Pakistan - M 8.0</a>	<a href="#">2003 08 04 - Scotia Sea - M 7.6</a>
<a href="#">1931 08 10 - Xinjiang, China - M 8.0</a>	<a href="#">2003 07 15 - Carlsberg Ridge - M 7.6</a>
<a href="#">1920 06 05 - Taiwan region - M 8.0</a>	<a href="#">2003 01 22 - Offshore Colima, Mexico - M 7.6</a>
<a href="#">1907 10 21 - Qaratog, Tajikistan - M 8.0</a>	<a href="#">2002 10 10 - Irian Jaya, Indonesia - M 7.6</a>
<a href="#">1899 09 10 - Yakutat Bay, Alaska - M 8.0</a>	<a href="#">2002 09 08 - New Guinea, Papua New Guinea - M 7.6</a>
<a href="#">1891 10 27 - Mino-Owari, Japan - M 8.0</a>	<a href="#">2001 07 07 - Near the Coast of Peru - M 7.6</a>
<a href="#">1855 01 23 - Wellington, New Zealand - M 8.0</a>	<a href="#">2001 01 26 - Gujarat, India - M 7.6</a>
<a href="#">1812 02 07 - New Madrid Region - M 8.0</a>	<a href="#">2000 11 17 - New Britain region, Papua New Guinea - M 7.6</a>
<a href="#">1787 05 02 - Puerto Rico - M 8.0</a>	<a href="#">1999 09 20 - Taiwan - M 7.6</a>
<a href="#">1668 08 17 - Anatolia, Turkey - M 8.0</a>	<a href="#">1999 08 17 - Izmit, Turkey - M 7.6</a>
<a href="#">1556 01 23 - Shensi, China - M 8.0</a>	<a href="#">1992 09 02 - Nicaragua - M 7.6</a>
<a href="#">2008 05 12 - Eastern Sichuan, China - M 7.9</a>	<a href="#">1991 04 22 - Costa Rica - M 7.6</a>
<a href="#">2007 09 12 - Kepulauan Mentawai region, Indonesia - M 7.9</a>	<a href="#">1975 02 02 - Near Islands, Alaska - M 7.6</a>
<a href="#">2002 11 03 - Denali Fault, Alaska - M 7.9</a>	<a href="#">1972 07 30 - Sitka, Alaska - M 7.6</a>
<a href="#">2000 06 18 - South Indian Ocean - M 7.9</a>	<a href="#">1965 01 24 - Sanana, Indonesia (Ceram Sea) - M 7.6</a>
<a href="#">2000 06 04 - Southern Sumatra, Indonesia - M 7.9</a>	<a href="#">1957 06 27 - Stanovoy Mountains, Russia (USSR) - M 7.6</a>

- [1946 08 08 - Samana, Dominican Republic - M 7.6](#)  
 1943 11 26 - Ladik, Turkey - M 7.6  
 1942 11 26 - Turkey - M 7.6  
 1932 12 25 - Gansu, China - M 7.6  
 1928 12 01 - Talca, Chile - M 7.6  
[1927 05 22 - Tsinghai, China - M 7.6](#)  
[1927 03 07 - Tango, Japan - M 7.6](#)  
 1910 04 12 - Taiwan region - M 7.6  
[2009 08 10 - Andaman Islands, India region - M 7.5](#)  
[2007 01 21 - Molucca Sea - M 7.5](#)  
[2007 09 28 - Mariana Islands region - M 7.5](#)  
[2007 08 08 - Java, Indonesia - M 7.5](#)  
[2005 09 26 - Northern Peru - M 7.5](#)  
[2004 11 11 - Kepulauan Alor, Indonesia - M 7.5](#)  
[2002 03 05 - Mindanao, Philippines - M 7.5](#)  
 2001 01 01 - Mindanao, Philippines - M 7.5  
[1999 09 30 - Oaxaca, Mexico - M 7.5](#)  
[1998 05 03 - Southeast of Taiwan - M 7.5](#)  
[1998 01 04 - Loyalty Islands Region - M 7.5](#)  
[1979 02 28 - Mt. St. Elias, Alaska - M 7.5](#)  
[1976 07 27 - Tangshan, China - M 7.5](#)  
[1976 02 04 - Guatemala - M 7.5](#)  
[1974 10 08 - Leeward Islands - M 7.5](#)  
 1972 01 25 - Taiwan region - M 7.5  
 1971 07 09 - Valparaiso region, Chile - M 7.5  
 1970 01 04 - Yunnan Province, China - M 7.5  
[1964 06 16 - Niigata, Japan - M 7.5](#)  
 1960 01 13 - Arequipa, Peru - M 7.5  
 1959 04 26 - Taiwan region - M 7.5  
[1949 07 10 - Khait, Tajikistan - M 7.5](#)  
 1935 05 30 - Quetta, Pakistan - M 7.5  
[1918 10 11 - Mona Passage - M 7.5](#)  
 1917 07 30 - Yunnan, China - M 7.5  
 1905 04 04 - Kangra, India - M 7.5  
 1902 04 19 - Guatemala - M 7.5  
 1693 01 11 - Sicily, Italy - M 7.5  
[2009 01 15 - East of the Kuril Islands - M 7.4](#)  
[2009 01 03 - Near the North Coast of Papua, Indonesia - M 7.4](#)  
[2008 11 16 - Minahasa, Sulawesi, Indonesia - M 7.4](#)  
[2008 02 20 - Simeulue, Indonesia - M 7.4](#)  
[2007 11 29 - Martinique Region, Windward Islands - M 7.4](#)  
[2007 09 30 - Auckland Islands, New Zealand region - M 7.4](#)  
[2006 05 16 - Kermadec Islands Region - M 7.4](#)  
[2006 01 02 - East of South Sandwich Islands - M 7.4](#)  
[2004 09 05 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 7.4](#)  
[2002 03 03 - Hindu Kush Region, Afghanistan - M 7.4](#)  
[2002 11 02 - Northern Sumatra, Indonesia - M 7.4](#)  
 1990 06 20 - Western Iran - M 7.4  
 1977 11 23 - San Juan, Argentina - M 7.4  
[1965 03 28 - La Ligua, Chile - M 7.4](#)  
 1953 12 12 - Tumbes, Peru - M 7.4  
 1948 05 11 - Moquegua, Peru - M 7.4  
 1944 02 01 - Gerede, Turkey - M 7.4  
 1944 01 15 - San Juan, Argentina - M 7.4  
 1943 09 10 - Tottori, Japan - M 7.4  
[1943 11 03 - Skwenta, Alaska - M 7.4](#)  
 1933 08 25 - Sichuan, China - M 7.4  
[1933 11 20 - Baffin Bay, Canada - M 7.4](#)  
 1929 05 01 - Kopper Daghi, Iran (Persia) - M 7.4  
 1911 02 18 - Sarez, Tajikistan - M 7.4  
[1887 05 03 - Northern Sonora, Mexico - M 7.4](#)  
[1872 03 26 - Owens Valley, California - M 7.4](#)  
[2009 05 28 - Offshore Honduras - M 7.3](#)  
[2008 11 24 - Sea of Okhotsk - M 7.3](#)  
[2008 04 09 - Loyalty Islands - M 7.3](#)  
 2004 02 07 - Irian Jaya, Indonesia - M 7.3  
[2004 07 25 - Southern Sumatra, Indonesia - M 7.3](#)  
[2003 01 20 - Solomon Islands - M 7.3](#)  
[2003 09 27 - Southwestern Siberia, Russia - M 7.3](#)  
[2003 12 27 - Southeast of the Loyalty Islands - M 7.3](#)  
[2002 11 17 - Kuril Islands, Russia - M 7.3](#)  
[2002 06 28 - Priamurye-Northeastern China border region - M 7.3](#)  
[1999 02 06 - Santa Cruz Islands - M 7.3](#)  
[1997 05 10 - Northern Iran - M 7.3](#)  
[1992 06 28 - Landers, California - M 7.3](#)  
 1981 07 28 - southern Iran - M 7.3  
 1976 11 24 - Turkey-Iran border region - M 7.3  
 1974 07 13 - Panama-Colombia border region - M 7.3  
 1968 08 31 - Dash-e-Bayaz, Iran - M 7.3  
 1967 07 22 - Mudumu Valley, Turkey - M 7.3  
[1965 08 23 - Oaxaca, Mexico - M 7.3](#)  
[1965 03 30 - Rat Islands, Alaska - M 7.3](#)  
[1959 08 18 - Hebgen Lake, Montana - M 7.3](#)  
 1958 01 15 - Arequipa, Peru - M 7.3  
[1958 04 07 - Huslia, Alaska - M 7.3](#)  
 1953 03 18 - Yenice-Gonen, Turkey - M 7.3  
[1952 07 21 - Kern County, California - M 7.3](#)  
 1948 10 05 - Ashgabat, Turkmenistan - M 7.3  
 1948 06 28 - Fukui, Japan - M 7.3  
 1948 05 25 - Sichuan, China - M 7.3  
 1947 11 01 - Satipo, Peru - M 7.3  
 1947 08 05 - Pasini, Iran - M 7.3  
[1946 06 23 - Vancouver Island, British Columbia, Canada - M 7.3](#)  
[1946 11 10 - Ancash, Peru - M 7.3](#)  
 1942 12 20 - Erbaa, Turkey - M 7.3  
 1940 11 10 - Vrancea, Romania - M 7.3  
[1937 07 22 - Central Alaska - M 7.3](#)  
[1929 11 18 - Grand Banks, Nova Scotia, Canada - M 7.3](#)  
 1923 03 24 - Near Luhuo, Sichuan, China - M 7.3  
[1922 01 31 - Eureka, California - M 7.3](#)  
 1918 02 13 - Nan'ao, Guangdong, (Kwangtung), China - M 7.3  
 1909 01 23 - Silakhor, Iran (Persia) - M 7.3  
[1904 08 27 - Fairbanks, Alaska - M 7.3](#)  
 1887 06 08 - Almaaty, Kazakhstan - M 7.3  
[1886 09 01 - Charleston, South Carolina - M 7.3](#)  
 1875 05 18 - northern Colombia - M 7.3  
[1873 11 23 - California - Oregon Coast - M 7.3](#)  
 1664 05 12 - Ica, Peru - M 7.3  
[2009 02 11 - Kepulauan Talaud, Indonesia - M 7.2](#)  
[2008 03 20 - Xinjiang-Xizang border region - M 7.2](#)  
[2008 02 25 - Kepulauan Mentawai region, Indonesia - M 7.2](#)  
[2007 12 19 - Andreanof Islands, Aleutian Islands, Alaska - M 7.2](#)  
[2007 10 31 - Pagan Region, Northern Mariana Islands - M 7.2](#)  
[2007 09 02 - Santa Cruz Islands - M 7.2](#)  
[2007 08 01 - Vanuatu - M 7.2](#)  
[2005 06 15 - Off the Coast of Northern California - M 7.2](#)  
[2005 08 16 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 7.2](#)  
[2005 07 24 - Nicobar Islands, India Region - M 7.2](#)  
[2004 11 15 - Near the West Coast of Colombia - M 7.2](#)  
[2004 09 05 - Near the South Coast of Western Honshu, Japan - M 7.2](#)  
[2003 08 21 - South Island of New Zealand - M 7.2](#)  
 2002 01 02 - Vanuatu Islands - M 7.2  
[1999 11 12 - Duzce, Turkey - M 7.2](#)  
[1998 08 04 - Near Coast of Ecuador - M 7.2](#)  
[1992 04 25 - Cape Mendocino, California - M 7.2](#)  
 1980 01 01 - Azores Islands, Portugal - M 7.2  
[1980 11 08 - Humboldt County, California - M 7.2](#)  
 1977 03 04 - Romania - M 7.2  
[1975 11 29 - Kalapana, Hawaii - M 7.2](#)  
 1972 04 24 - Taiwan region - M 7.2  
 1969 12 25 - Guadeloupe, Leeward Islands - M 7.2  
[1947 10 16 - Wood River, Alaska - M 7.2](#)  
[1941 04 29 - Meerberry, Australia - M 7.2](#)  
[1932 12 21 - Cedar Mountain, Nevada - M 7.2](#)  
 1930 05 06 - Salmas, Iran (Persia) - M 7.2  
[1923 01 22 - Humbolt County, California - M 7.2](#)  
[1912 07 07 - Paxson, Alaska - M 7.2](#)  
 1908 12 28 - Messina, Italy - M 7.2  
[2009 08 09 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 7.1](#)  
[2008 04 12 - Macquarie Island region - M 7.1](#)  
[2007 03 25 - Vanuatu - M 7.1](#)  
[2006 12 26 - Taiwan Region - M 7.1](#)  
[2005 03 02 - Banda Sea - M 7.1](#)  
[2005 02 05 - Celebes Sea - M 7.1](#)  
[2004 11 26 - Papua, Indonesia - M 7.1](#)  
[2004 11 22 - Off West Coast of South Island, N.Z. - M 7.1](#)  
[2003 06 20 - Amazonas, Brazil - M 7.1](#)  
[2003 03 17 - Rat Islands, Aleutian Islands, Alaska - M 7.1](#)  
 2002 04 26 - Mariana Islands - M 7.1  
[2002 03 31 - Taiwan region - M 7.1](#)  
[1999 05 16 - New Britain region, Papua New Guinea - M 7.1](#)  
[1999 05 10 - New Britain region, Papua New Guinea - M 7.1](#)  
[1999 10 16 - Hector Mine, California - M 7.1](#)  
[1998 01 30 - Near Coast of Northern Chile - M 7.1](#)  
 1995 05 27 - Sakhalin Island - M 7.1  
 1976 06 25 - Papua, Indonesia - M 7.1  
 1972 04 10 - southern Iran - M 7.1  
 1968 08 02 - Oaxaca, Mexico - M 7.1  
[1968 05 23 - Inangahua, New Zealand - M 7.1](#)  
[1965 03 31 - Central Greece - M 7.1](#)  
 1962 09 01 - Qazvin, Iran - M 7.1  
 1962 05 19 - Guerrero, Mexico - M 7.1  
 1957 12 13 - Sahneh, Iran - M 7.1  
 1957 07 02 - Mazandaran, Iran - M 7.1  
 1957 05 26 - Bolu Province, Turkey - M 7.1  
 1957 04 25 - Fethiye, Turkey - M 7.1  
[1957 03 14 - Andreanof Islands, Alaska - M 7.1](#)  
[1957 03 09 - Fox Islands, Alaska - M 7.1](#)  
[1954 04 30 - Greece - M 7.1](#)  
[1954 12 16 - Fairview Peak, Nevada - M 7.1](#)  
 1955 08 12 - Kefallinia, Greece - M 7.1  
[1953 01 05 - Near Islands, Alaska - M 7.1](#)  
[1949 04 13 - Puget Sound, Washington - M 7.1](#)  
 1945 01 12 - Mikawa, Japan - M 7.1  
[1940 05 19 - Imperial Valley, California - M 7.1](#)  
 1935 04 20 - Taiwan (Formosa) - M 7.1  
[1934 05 04 - Chugach Mountains, Alaska - M 7.1](#)  
[1927 11 04 - Lompoc, California - M 7.1](#)

[1927 10 24 - Southeast Alaska - M 7.1](#)

1925 03 16 - Yunnan, China - M 7.1

[1915 10 03 - Pleasant Valley, Nevada - M 7.1](#)

1901 12 31 - Cook Inlet, Alaska - M 7.1

[1812 12 21 - West of Ventura, California - M 7.1](#)

2009 09 02 - Java, Indonesia - M 7.0

[2008 09 29 - Kermadec Islands, New Zealand - M 7.0](#)

2008 07 19 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0

[2008 06 30 - South Sandwich Islands region - M 7.0](#)

2006 08 20 - Scotia Sea - M 7.0

[2006 02 22 - Mozambique - M 7.0](#)

[2005 11 14 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0](#)

2004 02 05 - Irian Jaya, Indonesia - M 7.0

[2004 11 28 - Hokkaido, Japan Region - M 7.0](#)

[2004 10 09 - Near the Coast of Nicaragua - M 7.0](#)

2003 10 31 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0

[2003 05 26 - Halmahera, Indonesia - M 7.0](#)

[2003 05 26 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0](#)

1999 06 15 - Central Mexico - M 7.0

[1998 07 17 - Near North Coast of New Guinea, Papua New Guinea - M 7.0](#)

1997 07 09 - Near Coast of Venezuela - M 7.0

1994 09 01 - Cape Mendocino, California - M 7.0

1991 08 17 - Honeydew, California - M 7.0

1987 03 06 - Colombia-Ecuador - M 7.0

[1975 02 04 - Haicheng, China - M 7.0](#)

1972 01 25 - Taiwan region - M 7.0

1970 06 24 - South of Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada - M 7.0

1966 03 07 - Hebei, China - M 7.0

[1966 08 07 - Rat Islands, Alaska - M 7.0](#)

[1965 02 23 - Taltal, Chile - M 7.0](#)

1964 10 06 - Western Turkey - M 7.0

1962 05 11 - Guerrero, Mexico - M 7.0

[1957 03 16 - Andreanof Islands, Alaska - M 7.0](#)

[1957 03 12 - Andreanof Islands, Alaska - M 7.0](#)

1929 05 26 - South of Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada - M 7.0

[1918 12 06 - Vancouver Island, British Columbia, Canada - M 7.0](#)

1915 01 13 - Avezzano, Italy - M 7.0

1914 10 03 - Burdur, Turkey (Ottoman Empire) - M 7.0

[1910 09 09 - Rat Islands, Aleutian Islands, Alaska - M 7.0](#)

[1908 05 15 - Gulf of Alaska - M 7.0](#)

1903 04 28 - Turkey - M 7.0

[1899 09 23 - Copper River delta, Alaska - M 7.0](#)

1899 04 16 - Eureka, California - M 7.0

[1868 03 29 - Ka'u District, Island of Hawaii - M 7.0](#)

[1823 06 02 - South flank of Kilauea, Hawaii - M 7.0](#)

[1663 02 05 - St. Lawrence Valley region, Quebec, Canada - M 7.0](#)



## Annexe 2

### Listes des organismes contactés listés par pays

#### Chine

HAN Yan-Ben, [hyb@bao.ac.cn](mailto:hyb@bao.ac.cn)

JIANG Wa-Li, [walijianghdc@vip.sina.com](mailto:walijianghdc@vip.sina.com)

LI Yong, [yli@bao.ac.cn](mailto:yli@bao.ac.cn)

OUYANG Zu-Xi, [oyzx2855@sina.com](mailto:oyzx2855@sina.com)

WEI Le-Jun, [weili@publica.bj.cninfo.net](mailto:weili@publica.bj.cninfo.net)

YAO Qing-Lin, [glnh@sohu.com](mailto:glnh@sohu.com)

YUAN Xiao-Ming, [yxmiem@163.com](mailto:yxmiem@163.com)

ZHAO Yu-Lin, [zhaoyl522@yahoo.com.cn](mailto:zhaoyl522@yahoo.com.cn)

#### Russie

**Prof. ZAVYALOV A.**, Head of Laboratory Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS str. Bol.Gruzinskaya 10 Moscow D-242, 123995 GSP-5, Russia Phone/Fax: +7 (495) 254-2478. E-mail: [ZAVYALOV@IFZ.RU](mailto:ZAVYALOV@IFZ.RU)

#### Italie

Pier Francesco Biagi : Université de Bari, département de Physique),  
[biagi@fisica.uniba.it](mailto:biagi@fisica.uniba.it)

Valerio Tramutoli ([valerio.tramutoli@unibas.it](mailto:valerio.tramutoli@unibas.it)),

Enzo La Penna ([lapenna@imaa.cnr.it](mailto:lapenna@imaa.cnr.it))

Giovanni Martinelli ([giovanni.martinelli15@tin.it](mailto:giovanni.martinelli15@tin.it))

Maurizio Poscolieri ([maurizio.poscolieri@idac.rm.cnr.it](mailto:maurizio.poscolieri@idac.rm.cnr.it)).

#### Japon

Naoji KOIZUMI, AIST-GSJ, Tsukuba, [koizumi-n@aist.go.jp](mailto:koizumi-n@aist.go.jp)

## **Chili**

Professeur Jaime Campos, Servicio Sismológico, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chili; Email : [jaime@dgf.uchile.cl](mailto:jaime@dgf.uchile.cl), Tel : +00 56 2 696 6563

## **Mexique**

Docteur Juan Martín Gómez González, Responsable del Laboratorio de Sismología, Centro de Geociencias, UNAM, Email : [gomez@dragon.geociencias.unam.mx](mailto:gomez@dragon.geociencias.unam.mx), Tel :+00 52 44 2238 1104

Le docteur Gómez nous a mis en relation avec deux de ses collègues mexicains :

Docteur F. Ramón Zúñiga Dávila-Madrid, Centro de Geociencias, UNAM, Email : [ramon@dragon.geociencias.unam.mx](mailto:ramon@dragon.geociencias.unam.mx); Tel :+00 52 55 5623 4104

Docteur David A. Novelo-Casanova, Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM, Email : [dnovelo@geofisica.unam.mx](mailto:dnovelo@geofisica.unam.mx)

## **Espagne**

Docteur Elisa Buforn, Universidad Complutense, Madrid, Email : [ebuforn@fis.ucm.es](mailto:ebuforn@fis.ucm.es); Tel : +00 34 913 944 400

## Annexe 3

### La terre va-t-elle trembler en Haïti?

Source :

[http://www.haitiwebs.com/forums/lakay\\_haitian\\_news/49674-la\\_terre\\_va\\_t\\_elle\\_trembler\\_en\\_haiti.html](http://www.haitiwebs.com/forums/lakay_haitian_news/49674-la_terre_va_t_elle_trembler_en_haiti.html)

Published by TiCam- 05-22-2008

#### La terre va-t-elle trembler en Haïti?

« Là où la terre a tremblé, elle tremblera encore ! » Prononcée par les chercheurs présents à une conférence portant sur les risques sismiques en Haïti, cette petite phrase a apeuré les quelque 200 personnes rassemblées mercredi 14 mai à la Faculté des sciences de l'UEH.

« Les séismes se répètent aux mêmes endroits à des intervalles de temps variant de 100 ans ou plus, a expliqué Eric Calais, professeur associé de géophysique à l'université Purdue en Indiana. **Les études scientifiques récentes citées par le Système national des risques et des désastres, même insuffisantes, montrent qu'Haïti est susceptible d'être affecté, à l'échelle de quelques dizaines d'années, par des séismes de magnitude supérieure à sept sur l'échelle de Richter.** »

Le contrôle inexistant des constructions et l'absence des normes parasismiques font planer de grands dangers sur la ville de Port-au-Prince sur toute la zone métropolitaine, selon l'analyse des experts. Eric Calais a montré, photos à l'appui, que la construction joue un rôle d'une extrême importance dans la vulnérabilité d'une ville en matière de séisme.

« Même si la science ne permet pas encore de prédire avec précision l'occurrence des séismes, l'on peut néanmoins mesurer les moindres déplacements des lèvres d'une faille à l'aide d'un réseau de sites de mesures GPS (Positionnement par satellite) pour pouvoir apprécier l'énergie accumulée au niveau de la faille et estimer la magnitude du prochain séisme », a indiqué le directeur du Bureau des mines et de l'énergie d'Haïti, Dieuseul Anglade.

Les mesures GPS de séisme ont débuté seulement en 2003 sur tout le territoire national. Aujourd'hui, d'après les chiffres du directeur du Bureau des mines et de l'énergie, Haïti compte 26 sites de mesures GPS.

Un réseau de surveillance est en train d'être mis en place, grâce au support de l'UE, afin de quantifier les risques, les menaces et limiter les dégâts. Cependant, aucun pays ne peut éviter un tremblement de terre, aussi performant et sophistiqué que soit son réseau de surveillance.

Depuis le XVI<sup>e</sup> siècle, il y a eu au moins un séisme destructeur par siècle.

« La conférence n'est pas une activité isolée, elle se situe dans une action plus large qui reçoit l'appui de l'Union européenne », a souligné Jean Arsène Constant de la Direction de la protection civile.

Les séismes s'apparentent à une bête aux multiples cornes économiques, politiques, techniques et sociales.

« Rien qu'en l'espace de dix ans - de 1990 à 1999 -, le monde a été l'objet de 249 séismes tuant quelque 97 000 personnes, touchant 14.5 millions d'autres de tout âge et entraînant des dégâts matériels de 300 milliards de dollars américains », a souligné le recteur de l'UEH Vernet Henri, rappelant le rôle mondialement reconnu de l'université comme le dépositaire de toutes les innovations technologiques et scientifiques.

Le tremblement de terre le plus meurtrier demeure celui qu'a connu la Chine en 1976, causant officiellement 242 000 morts. Le 17 janvier 1995, le tremblement qui a failli rayer la ville japonaise de Kobe de la carte a causé 6 000 morts, des dégâts estimés à 150 milliards de dollars et détruit 18 000 bâtiments. Ce dernier reste le plus coûteux en dégâts matériels. La semaine dernière, un séisme a fait plus de 40 000 morts dans le sud de la Chine.

Haïti n'a pas toujours été épargnée. Ainsi, les tremblements de terre de 1751 et de 1770 ont durement affecté Port-au-Prince et celui de 1852 a quasiment détruit la ville du Cap-Haïtien, y faisant 10 000 morts.

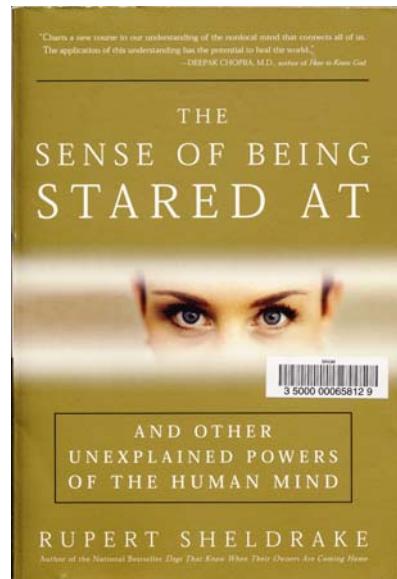
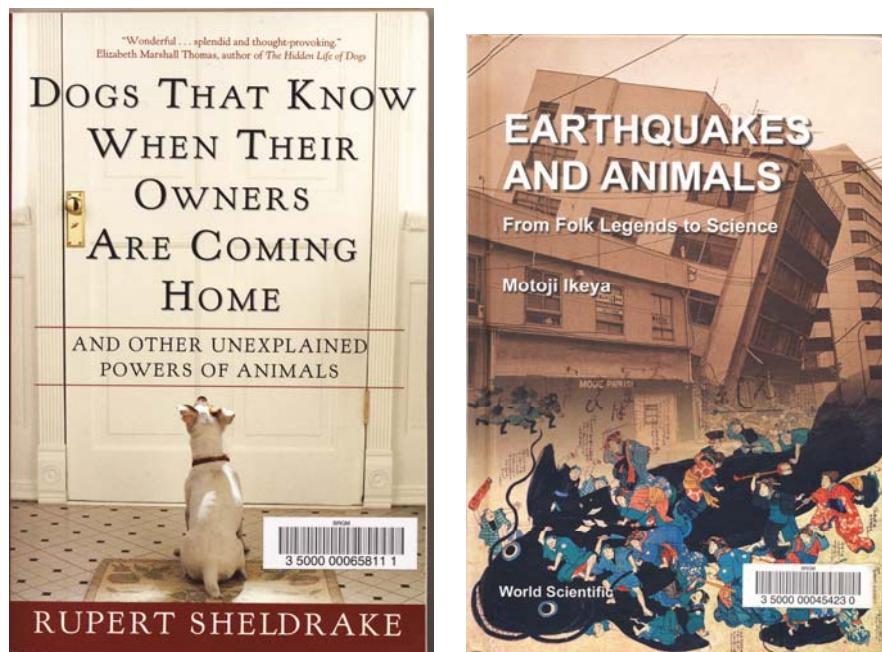
Comme l'a montré l'ingénieur Claude Prépetit qui a fait l'historique du sujet dans le pays, Haïti est traversée par deux failles. L'une au sud, partant de Pétion-Ville jusqu'à Tiburon et l'autre au Nord allant de Cuba à la République dominicaine. On n'ose imaginer, dans l'état actuel où trop de bâtiments sont construits de bric et de broc et ignorant toutes les normes de construction, les conséquences d'un tremblement de terre aussi puissant que celui survenu en Chine la semaine dernière.

Source: *Le Nouvelliste*

Voir aussi : Ali S., A. Freed, E. Calais, D. Manaker and W. McCann, 2007. Coulomb stress evolution in Northeastern Caribbean over the past 250 years due to coseismic, postseismic and interseismic deformation. *Geophys. J. Int.* (2008) **174**, 904–918.

## Annexe 4

### Premières pages des ouvrages





**Centre scientifique et technique  
Service risques naturels et sécurité du stockage du CO<sub>2</sub>**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34



Document public

# Précurseurs de séismes majeurs : un état de l'art et étude bibliographique

Rapport final

Bibliographie complémentaire

BRGM/RP 58282-FR

Décembre 2009



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Précurseurs de séismes majeurs: un état de l'art et étude bibliographique

Rapport final  
Bibliographie complémentaire

**BRGM/RP-58282-FR**  
décembre 2009

Étude réalisée dans le cadre de l'action II.7 de la convention n°0005731 de Service public du BRGM 2009

**Philippe Jousset, Chan Quang Vong, Anne Lemoine, Frédéric Gal**  
Avec la collaboration de  
**Lihua Yin, Aurélien Leynet, Marcello De Michelle, Yann Krien, Jérôme Lambert, John Douglas.**



**Mots clés** : Précurseurs de séisme, Liste bibliographique

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Jousset P., C. Q. Vong, A. Lemoine et F. Gal (2009), Précurseurs de séismes majeurs : un état de l'art et étude bibliographique. Bibliographie complémentaire, BRGM/RP-58282-FR, 127 p.

## Sommaire

<b>1. Bibliographie classée par méthode (non étudiée).....</b>	<b>7</b>
1.1. ARTICLES DE PORTEE GENERALE ET MULTIMETHODE.....	7
1.2. DEFORMATION DU SOL, SISMOLOGIE, GÉODESIE.....	8
1.3. THERMOMETRIE, FLUX THERMIQUE, ATMOSPHERE (NUAGES) .....	19
1.4. HYDROGÉOCHIMIE .....	20
1.5. ELECTROMAGNETISME, METHODES SATELLITAIRES.....	29
<b>2. Bibliographie des numéros spéciaux .....</b>	<b>39</b>
2.1. NUMERO SPECIAL DE « GEOPHYSICAL RESEARCH LETTER », 1981 .....	39
2.2. VOLUME SPECIAL DE « TECTONOPHYSICS » .....	40
2.3. SECTION SPECIALE DE « GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL », 1997	42
2.4. NUMERO SPECIAL DE « NATURE », 1999 – SERIE DE DISCUSSIONS ENTRE SISMOLOGUES .....	43
2.5. NUMEROS SPECIAUX DE « PURE AND APPLIED GEOPHYSICS », 2004, PP. 141-619.....	44
2.6. NUMEROS SPECIAUX DE « PURE AND APPLIED GEOPHYSICS », 2010... <td>46</td>	46
<b>3. Bibliographie par pays et envoyée par les chercheurs .....</b>	<b>50</b>
3.1. BIBLIOGRAPHIE GRECQUE .....	50
SELECTIONS DE PUBLICATIONS (PAR VAROTSOS).....	50
3.2. BIBLIOGRAPHIE JAPONAISE .....	53
3.3. BIBLIOGRAPHIE RUSSE.....	54
3.3.1.A. Soloviev.....	55
3.3.2.A. D. Zavialov, Institut de Physique de la Terre de Moscou .....	61
3.3.3.G. A. Sobolev .....	73
3.4. BIBLIOGRAPHIE ITALIENNE TRANSMISE PAR P. F. BIAGI.....	102



# 1. Bibliographie classée par méthode (non étudiée)

## 1.1. ARTICLES DE PORTEE GENERALE ET MULTIMETHODE

**Evison F.** (1999) - On the existence of earthquake precursors. *Annali di Geofisica*, 42, p. 763-770.

**Feng L. H.** (1998) - Application test of matter element analysis in earthquake forecast (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 745-750.

**Chen H. T., Sun C. C., Li X. D. et al.** (2000) - Research on strong earthquake type division and forecast method for subsequent strong earthquakes (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 194-200.

**Li Y.** (2008) - Possibility to detect Wenchuan Ms8.0 earthquake by the Earthquake Warning System (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 23, p. 969-971.

**Li Y.** (2008) - A tentative earthquake warning system for the planet Earth (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 23, p. 384-391.

**Li Y.** (2007) - Elementary applications for a tentative earthquake warning system upon the planet Earth (Test Version) (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 22, p. 1066-1069.

**Macelwane J. B., S.J.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Forecasting earthquakes. *Geophysical Journal International*, 121, p. 421-422.

**Manga M., Wang C. Y.** (2007) - Earthquake Hydrology. *Treatise on Geophysics*, 4, p. 293-320.

**Miller S.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Earthquakes: prediction and the media-a case study in public understanding of science. *Geophysical Journal International*, 131, p. 530-533.

**Mjachkin V. I., Brace W. F., Sobolev G. A. et al.** (1975) - Two models for earthquake forerunners. *Pure and Applied Geophysics*, 113, p. 169-181.

**Raleigh B.** (1982) - A strategy for short term prediction of earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72, p. S337-S342.

**Ren Z. Q., Li J. Z., Zeng X. P.** (2001) - The pregress of forecast research on impending violent earthquake (in Chinese). *Earth Science Frontiers*, 8, p. 217-223.

**Rikitake T.** (1979) - Classification of earthquake precursors. *Tectonophysics*, 54, p. 293.

**Sneed M., Galloway D. L., Cunningham W. L.** Earthquakes - Rattling the Earth's plumbing system. *USGS*

**Soter S.** (1999) - Macroscopic seismic anomalies and submarine pockmarks in the Corinth–Patras rift, Greece. *Tectonophysics*, 308, p. 275-290.

**Stark P. B.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Earthquake prediction: the null hypothesis. *Geophysical Journal International*, 131, p. 495-499.

**Stiros S. C.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Costs and benefits of earthquake prediction studies in Greece. *Geophysical Journal International*, 131, p. 478-484.

**Stuart W. D.** (1988) - Forecast model for great earthquakes at the Nankai Trough subduction zone. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 619-641.

**Su Y. J., Liu Z. Y., Cai M. J. et al.** (1999) - Deep medium environment of strong earthquakes occurrence in Yunnan region (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 345-356.

**Wang W. D., Zhang Y. Z., Wang X.** (2006) - Precursor of Jingyang earthquake with MI 5.2 (in Chinese). *Journal of Earth Sciences and Environment*, 28, p. 78-80.

## 1.2. DEFORMATION DU SOL, SISMOLOGIE, GEODESIE

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M. et al.** (1995) - Possible creep-related tilt precursors obtained in the Central Apennines (Italy) and in the Southern Caucasus (Georgia). *Pure and Applied Geophysics*, 144, p. 277-300.

**Bernard P.** (2001) - From the search of 'precursors' to the research on 'crustal transients'. *Tectonophysics*, 338, p. 225-232.

**Blanter E. M., Shnirman M. G., Le Mouél J. L.** (1997) - Hierarchical model of seismicity: scaling and predictability. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 103, p. 135-150.

**Cao J. Q., Sun J. L., Yang Y.** (Jan. 1997) - The identification and criteria of short-term seismicity gap before a great earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 43-51.

**Chang L. J., Wang C. Y., Ding Z. F.** (2008) - Seismic anisotropy of upper mantle in Sichuan and adjacent regions. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 51, p. 1683-1693.

**Chen P. Y.** (1997) - Application of the value of nonlinear parameters H and  $\Delta H$  in strong earthquake prediction (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 181-191.

- Chen X. Z., Wang X. Q., Li Z. X. et al.** (2000) - The characteristics of variation in inhomogeneity of temporal-spatial distribution of short to imminent precursors before strong earthquakes (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 27-34.
- Chen Y. H., Dong Z. P., Chen J. W. et al.** (2009) - A discussion of the preparation process of the Ms8.1 west Kunlun mountain pass earthquake (in Chinese). *Seismology and Geology*, 31, p. 363-371.
- Chi S. L.** (2007) - Deep-hole broad-band strain-seismograph and lign-frequence seismology--the hope to successful earthquake prediction (in Chinese). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 1164-1170.
- Dai Y. H., Liu Y. Q., Sun P. Q.** (1999) - Application of fault diagnosis method in earthquake prediction (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 243-246.
- Dal Moro G., Zadro M.** (1999) - Remarkable tilt-strain anomalies preceding two seismic events in Friuli (NE Italy): their interpretation as precursors. *Earth and Planetary Science Letters*, 170, p. 119-129.
- Dalton F., Corcoran D.** Precursors and Omori's Law in a model earthquake system. *Physics Department, University of Limerick, Ireland*
- Dmowska R., Lovison L. C.** (1988) - Intermediate-term seismic precursors for some coupled subduction zones. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 643-664.
- Dragoni M., Bonafede M., Boschi E.** (1985) - On the interpretation of slow ground deformation precursory to the 1976 Friuli earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 781-792.
- Fedotov S. A., Maguskin M. A., Kirienko A. P. et al.** (1992) - Vertical ground movements on the coast of the Kamchatka Gulf: their specific features in the epicentral zone of the August 17, 1983, earthquake  $M = 6.9$ , before and after. *Tectonophysics*, 202, p. 157-162.
- Fujii Y., Nakane K.** (1997) - Reevaluation of anomalous vertical crustal movement associated with the 1964 Niigata, Japan, earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 149, p. 115-127.
- Gong H. S., Du C. Y.** (2008) - Rock mechanic analysis of earthquake prediction with acoustic emission (in Chinese). *Advances in Earth Sciences*, 23, p. 1293-1298.
- Gu G. H., Zhang J., Wang W. X.** (2003) - Horizontal crustal movement in Chinese mainland before and after the great Kunlun Mountain  $M=8.1$  earthquake in 2001 (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 653-660.
- Gu G. X., Kuo J. T., Liu K. R. et al.** (1998) - Seismogenesis and occurrence of earthquakes as observed by temporally continuous gravity variations in China (in English). *Chinese Science Bulletin*, 43, p. 8-21.

**Guo G. M., Cao Y. G., Gong J. M.** (2006) - Monitoring Anomaly before earthquake with MODIS and MOPITT data (in Chinese). *Advances in Earth Sciences*, 21, p. 695-698.

**Guo L. Q., Bo W. J., Hu X. K. et al.** (2002) - Characteristics of crustal strain associated with M=6.4 Baotou earthquake in 1996 (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 348-356.

**Guo Z. J., Qin B. Y.** (2000) - The middle-long term prediction of the February 3, 1996 Lijiang earthquake (Ms=7) by the "criterion of activity in quiescence" (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 442-445.

**Habermann R. E.** (1988) - Precursory seismic quiescence: past, present, and future. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 279-318.

**Haikun J., Qingzhuang M., Qiong W. et al.** (2009) - Analysis on statistical features of precursor based on earthquake cases in China mainland. *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 245-259.

**Han Y. B., Ma L. H., Hu H. et al.** (2007) - Application of Astronomic Time-latitude Residuals in Earthquake Prediction (in English). *Earth, Moon, and Planets*, 100, p. 125-135.

**Han Z. Q., Wang B. Q.** (1997) - The medium- and short-term prediction methods of strong earthquakes based on neural network (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 19, p. 367-375.

**Hao X. G., Hu X. G.** (2008) - Disturbance before the Wenchuan earthquake detected by broadband seismometer (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 23, p. 1332-1335.

**Hu X. G., Hao X. G.** (2009) - Observation of fore-seismic disturbance of the Mw7.6 Tonga earthquake (2009/03/19) (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 24, p. 866-870.

**Hu X. G., Hao X. G.** (2008) - The short-term anomalies detected by broadband seismographs before the May 12 Wenchuan earthquake, Sichuan, China (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 51, p. 1726-1734.

**Huang H. M., Fan H. S., Bian Y. J. et al.** (1998) - Investigation into the automatic recognition of time series precursor of earthquakes (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 605-614.

**Huang Q., Sobolev G. A., Nagao T.** (2001) - Characteristics of the seismic quiescence and activation patterns before the M=7.2 Kobe earthquake, January 17, 1995. *Tectonophysics*, 337, p. 99-116.

**Hui H., Yanben H.** (2005) - Prediction of the Hualian earthquakes in Taiwan and an extended discussion on the method of commensurability. *Applied Geophysics*, 2, p. 194-196.

- Jiang C., Chen H. R., Tian S. et al.** (2000) - Matter-element models for comprehensive earthquake prediction and their applications. *Acta Seismologica Sinica*, 13, p. 448-453.
- Jiang H. K., Hou H. F., Zhou H. P. et al.** (2004) - Region-time-length algorithm and its application to the study of intermediate-short term earthquake precursor in North China (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26, p. 151-161.
- Jiang J. X., Yin G. H., Wang Z. H. et al.** (2004) - Study on relationship between features of strain anomaly obtained by borehole strain meter at Wushi station in Xinjiang and strong earthquake: taking Jiashi Ms=6.8 earthquake as an example (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26 Supp, p. 64-70.
- Jiang Z. S., Fang Y., Wu Y. Q. et al.** (2009) - The dynamic process of regional crustal movement and deformation before Wenchuan Ms8.0 earthquake (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 505-518.
- Jiang Z. S., Zhu Y. Q., Wang Q. L.** (1998) - Dynamic pattern characteristics of fault deformation and gravity field in the development process of Yongdeng Ms=5.8 earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 313-320.
- Kagan Y. Y.** (2009) - Testing long-term earthquake forecasts: likelihood methods and error diagrams. *Geophysical Journal International*, 177, p. 532.
- Karakaisis G. F.** (2003) - Accelerating seismic crustal deformation before the Izmit (NW Turkey) large mainshock of 1999 August 17 and the evolution of its aftershock sequence. *Geophysical Journal International*, 153, p. 103-110.
- Li Q.** (2000) - The application of neural network to the analysis of earthquake precursor chaotic time series (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 404-409.
- Li S. Y., Teng C. K., Lu Z. Y. et al.** (2000) - Nucleation of earthquakes and its implication to precursors (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 201-209.
- Li Z. X., Li H.** (2008) - Plumb line variation at Tangshan during 1987-1998 and its relation with the earthquake around (in Chinese & translated in English). *Science in China Series D: Earth Sciences*, 38, p. 432-438.
- Lisowski M., Prescott W. H., Savage J. C. et al.** (1990) - A possible geodetic anomaly observed prior to the Loma Prieta, California, earthquake. *Geophysical Research Letters*, 17, p. 1211-1214.
- Liu H. G., Liu J., Ding Y. L. et al.** (2006) - Precursory specialties of apparent stresses in Yunnan earthquake series (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 28, p. 462-471.

**Liu H. G., Wang P. L., Yang C. X. et al.** (2007) - Application of apparent stress in earthquake prediction (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 29, p. 437-445.

**Liu P. X., Zheng D. L., Che S. et al.** (2003) - Seismicity anomalies before the great earthquake of Ms=8.1 in the Kunlun Pass and its significance to earthquake prediction (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 205-210.

**Liu Q., Wang J., Chen J. et al.** (2007) - Seismogenic tectonic environment of 1976 great Tangshan earthquake-results given by dense seismic array observations. *Earth Science Frontiers*, 14, p. 205-213.

**Long X. X., Yan J. P., Sun H. et al.** (2006) - Study on earthquake tendency in Sichuan-Yunnan region based on commensurability (in Chinese). *Journal of Catastrophology*, 21, p. 81-84.

**Lorenzetti E., Tullis T. E.** (1989) - Geodetic predictions of a strike-slip fault model: implications for intermediate- and short-term earthquake prediction. *Journal of Geophysical Research*, 94, p. 12343-12361.

**Mogi K.** (1988) - Downward migration of seismic activity prior to some great shallow earthquakes in Japanese subduction zones-a possible intermediate term precursor. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 447-463.

**Mogi K.** (1985) - Temporal variation of crustal deformation during the days preceding a thrust-type great earthquake - The 1944 Tonankai earthquake of magnitude 8.1, Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 765-780.

**Mortensen C. E., Johnston M. J. S.** (1976) - Anomalous tilt preceding the Hollister Earthquake of November 28, 1974. *Journal of Geophysical Research*, 81, p. 3561-3566.

**Mulargia F.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Retrospective validation of the time association of precursors. *Geophysical Journal International*, 131, p. 500-504.

**Nervesov I. L., Latynina L. A.** (1992) - Strain processes before the Spitak earthquake. *Tectonophysics*, 202, p. 221-225.

**Niu A. F.** (2003) - Study on the sudden changes in ground tilt and earthquakes (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 441-445.

**Niu A. F.** (1999) - The medium-short period tilt deformation phases character before the Zhangbei Ms=6.2 earthquake and its experimental interpretation. *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 117-124.

**Niu A. F., Li X. D., Wu J. et al.** (1998) - The method of AF synthetic detection on crust deformation anomaly and its application in earthquake prediction. *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 467-472.

- Niu Z. R., Li B. Q., Chen D. M.** The physical methods of comprehensive earthquake prediction. In : Study of Pragmatization of Earthquake Prediction Methods-Special Compile. of Comprehensive Prediction, p.307-3016. The physical methods of comprehensive earthquake prediction. In : Beijing : Seismological Press
- Ogata Y.** (2007) - Seismicity and geodetic anomalies in a wide area preceding the Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of 23 October 2004, central Japan. *Journal of Geophysical Research*, 112, p. B10301/1-11.
- Papadimitriou P.** (2008) - Identification of seismic precursors before large earthquakes: Decelerating and accelerating seismic patterns. *Journal of Geophysical Research*, 113, p. B04306/1-19.
- Pei T., Zhou C. H., Li Q. L. et al.** (2002) - Statistical analysis on temporal-spatial correlativity within temporal doublets of strong earthquakes in north China and its vicinity (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 50-56.
- Ping J. J., Zhang Q. R., Cao S. C. et al.** (2001) - The quiescence of earthquake with  $M_I \geq 4.0$  as an important precursory characteristic prior to strong shocks in North China region (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 441-448.
- Puxiong L., Dalin Z., Shi C. et al.** (2003) - Seismicity anomalies before the great earthquake of  $M_s=8.1$  in the Kunlun pass and its significance to earthquake prediction. *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 205-210.
- Qin J. Z., Qian X. D.** (2004) - Study on medium-short term earthquake forecast in Yunnan Province by precursory events (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26, p. 140-150.
- Rong D. L., Li Y. R., Han X. M.** (2006) - Application of scaling-rule theory in crustal rock fracture to studying characteristics of seismological precursors associated with  $M=6.1$  Shandan-Minle earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 28, p. 438-447.
- Rong D. L., Li Y. R., Liu X. Z.** (2004) - Study on growing correlation length prior to the earthquakes occurred in Gansu Province and its nearby area (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26, p. 509-515.
- Sato H.** (1987) - A precursor-like change in coda excitation before the western Nagano earthquake of 1984 in Central Japan. *Journal of Geophysical Research*, 92, p. 1356-1360.
- Schlump A., Sira C., Cara M. et al.** Séisme de Martinique du 29 novembre 2007, rapport du BCSF : synthèse sismologique et étude macrosismique. , BCSF2008-R1,
- Shearer, P. M. and G. Lin** (2009), Evidence for Mogi doughnut behavior in seismicity preceeding small earthquakes in southern California, *J. Geophys. Res.*, 114, B01318, doi:10.1029/2008JB005982.

**Shen C. Y., Li H., Fu G. Y.** (2003) - Study on a gravity precursor mode of the Ms=7.0 Lijiang earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 163-171.

**Sobolev G. A., Lyubushin A. A.** (Izvestiya, Physics of the Solid Earth) - Microseismic anomalies before the Sumatra earthquake of December 26, 2004. *Microseismic Anomalies before the Sumatra Earthquake*, 2007, p. 5-341-353.

**Sobolev G. A., Lyubushin A. A.** (2006) - Microseismic impulses as earthquake precursors. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 42, p. 721-733.

**Solarino S., Eva C.** (2007) - T waves in Western Mediterranean Sea after the May 21, 2003 Algerian earthquake. *Annals of Geophysics*, 50, p. 591-601.

**Song Z. P., Mei S. R., Wu A. X. et al.** (1997) - Maximum entropy spectral characteristics of seismic activity for great earthquakes in China (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 7-14.

**Song Z. P., Mei S. R., Yin X. C. et al.** (1999) - Periodic spectral characteristics of seismicity before strong earthquakes and their application (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 428-435.

**Song Z. P., Xu P., Zhang H. K. et al.** (2001) - Quadrant characteristics of earthquake precursors and its theoretical analysis (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 54-60.

**Song Z. P., Yin X. C., Mei S. R.** (2003) - 3-D rheologic model of earthquake preparation (I)- Displacement field (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 574-582.

**Song Z. P., Yin X. C., Mei S. R.** (2004) - 3-D rheologic model of earthquake preparation (II): Strain field and its applications (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26, p. 121-131.

**Song Z. P., Yin X. C., Mei S. R.** (2006) - 3-D rheologic model of earthquake preparation (III): Precursor field (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 28, p. 20-28.

**Spetzler H. A., Sobolev G. A., Sondergeld C. H. et al.** (1981) - Surface deformation, crack formation, and acoustic velocity changes in pyrophyllite under polyaxial loading. *Journal of Geophysical Research*, 86, p. 1070-1080.

**Stephenson R. A., Narkiewicz M., Dadlez R. et al.** (2003) - Tectonic subsidence modelling of the Polish Basin in the light of new data on crustal structure and magnitude of inversion. *Sedimentary Geology*, 156, p. 59-70.

**Tang C. A., Ma T. H., Ding X. L.** (2009) - On stress-forecasting strategy of earthquakes from stress buildup, stress shadow and stress transfer (SSS) based on numerical approach (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 53-62.

- Teng J. W., Zhang Y. Q., Yan Y. F.** (2009) - Deep process of the rupture of strong earthquakes and exploration for the impending earthquake prediction (in Chinese & translated in English). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 428-443.
- Tse S. T., Rice J. R.** (1986) - Crustal earthquake instability in relation to the depth variation of frictional slip properties. *Journal of Geophysical Research*, 91, p. 9452-9472.
- Tullis T. E.** (1988) - Rock friction constitutive behavior from laboratory experiments and its implications for an earthquake prediction field monitoring program. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 555-588.
- Venkatanathan N., Rao N. R., Sharma K. K. et al.** (2005) - Planetary configuration: implications for earthquake prediction and occurrence in Southern Peninsular India. *Journal of Indian Geophysical Union*, 9, p. 263-276.
- Wan Z. S., Zhao G. Z., Chen X. B. et al.** (2007) - Mechanism of lithosphere earthquake precursor anomalous phenomena (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 22, p. 708-714.
- Wang H. T., Peng K. Y., Zhang Y. X. et al.** (1998) - Characters of variation of LURR during the earthquake sequence of Xinjiang (in English). *Chinese Science Bulletin*, 43, p. 1752-1755.
- Wang K. Y., Ma S. L., Liu L. Q. et al.** (2002) - Experimental examination on the heterogeneity parameter Cv of earthquake precursors (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 82-89.
- Wang L. P., Li Y., Ma L. et al.** (2008) - Reverse tracing of precursors and earthquake precursors in Taiwan (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 30, p. 82-89.
- Wang L. Q.** (1997) - Preliminary discussion on earthquake prediction research - Whether it relies on experience or determinacy. *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 123-125.
- Wang L. Y., Chen P. Y., Wu Z. L. et al.** (2005) - Characteristics of foreshock and its identification (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 27, p. 171-177.
- Wang Q. L., Yao Y. S., Xia J. W. et al.** (2009) - Application of statistical forecasting model to the prediction of the Three Gorges Reservoir induced seismicity (in Chinese). *Seismology and Geology*, 31, p. 287-294.
- Wang Q., Ji S. C., Xu Z. Q.** (2009) - Vp/Vs anisotropy and implications for crustal composition identification and earthquake prediction (in English). *Acta Geologica Sinica*, 83, p. 801-815.

**Wang Q., Nie X. H., Wen H. P.** (2009) - Preliminary research on the characteristics of regional seismic activity and stress state before the 2008 Ms7.3 earthquake in Yutian, Xinjiang of China (in Chinese). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 235-244.

**Wang S. X., Jiang Z. S., Chen W. S. et al.** (2001) - Fault deformation anomaly and intermediate and short-term prediction of the Jingtai Ms=5.9 earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 151-158.

**Wang Y. C., Song Z. P., Wakayama et al.** (1998) - The evolution characteristics of positive and negative earthquakes before strong quakes in Kanto area and the Hyogo earthquake in Japan (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 20, p. 29-35.

**Wu L., Cui C., Geng N. et al.** (2000) – Remote Sensing Rocks Mechanics (RSRM) and associated experimental studies, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37, 879-888

**Wu F. C., Xu J. Q., Zhang X. et al.** (1998) - The statistical study of precursory anomalies observed in Chinese Seismological Network (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 597-603.

**Wu Z. L., Wang L. Y.** (2004) - Statistical property of candidate earthquake precursors and its apparent focal mechanism dependence (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26 Supp., p. 58-63.

**Wyss M., Klein F. W., Johnston A. C.** (86) - Precursors to the Kalapana M=7.2 earthquake. *Journal of Geophysical Research*, B5, p. 3881-3900.

**Xiao L. X., Zhu Y. Q., Li P. et al.** (2000) - A possible mechanism of crustal deformation before large earthquake of Xingtai in 1966 (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 43, p. 646-656.

**Xiao L. X., Zhu Y. Q., Zhang S. Q. et al.** (1999) - The relationship between the deep-level structure in crust and brewing of strong earthquakes in Xingtai area (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 647-658.

**Xu Z. Y., Wang B., Hu Y. L. et al.** (2009) - A discussion on the influence of the difference between the rock fracture and failure to the earthquake simulation and the precursor studies (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 712-719.

**Xu Z. Y., Yang R. H., Wang B. et al.** (1998) - Burst strain disturbance - a new test study on fracture precursor (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 737-744.

**Xur Y., Song Z. P., Mei S. R. et al.** (2008) - Characteristics of seismic activity before several large Sumatra, Indonesia, earthquakes (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 30, p. 321-325.

- Yang Q. Y., Chen X. L., Chen X. C.** (2001) - Prediction of maximum magnitude and original time of reservoir induced seismicity (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 523-529.
- Yin C., Xing H., Mora P. et al.** (2008) - Earthquake trend around Sumatra indicated by a new implementation of LURR method. *Pure and Applied Geophysics*, 165, p. 723-736.
- Yin X. C., Zhang L. P., Zhang Y. X. et al.** (2008) - The newest developments of Load-Unload response ration (LURR). *Pure and Applied Geophysics*, 165, p. 711-722.
- Yiqing Z., Shuangxu W., Zaisen J. et al.** (2003) - Gravity variation before Kunlun mountain pass Western Ms8.1 earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 291-297.
- You Y. X., Wang R. M., Li A. J. et al.** (1998) - Monitoring earthquake precursor field of NW Yunnan by stress remote sensing (in Chinese & translated in English). *Science in China Series D: Earth Sciences*, 28, p. 340-345.
- Zhang J., Chen R. H., Yang L. Z. et al.** (2006) - Research on distinguishing method and mechanism of tidal deformation anomalies before large earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 28, p. 150-157.
- Zhang L., Fu R. S., Zhou Z. et al.** (2008) - Extraction of seismic precursory information from gravity tide at Kunming station based on the HHT (in Chinese & translated in English). *Chinese Journal of Geophysics*, 51, p. 836-844.
- Zhang P. Y., Zhang D. Y., Zhu W. N. et al.** (2008) - Anomalous Earth Stress of the Ms8.0 Wenchuan Earthquake in Sichuan, China - Recording from Piezomagnetic Frequency Measurement to the Earth Stress (in Chinese). *Acta Geologica Sinica*, 82, p. 1788-1799.
- Zhang X. D., Zhang Y. X., Lu M. M. et al.** (2003) - Discussion on the feature of strong earthquake distribution in time, space and magnitude order before Kunlunshan 8.1 earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 583-590.
- Zhang X. M., Zhai Y. Z., Guo X. Z. et al.** (2007) - Tidal wave anomalies of geoelectrical field before remote earthquakes. *Acta Seismologica Sinica*, 20, p. 51-62.
- Zhang Y. B., Jiang J., Li X. D. et al.** (1998) - The synthetical elastic characteristic parameters of earth tide and its abnormal precursor evolution (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 449-454.
- Zhang Y. B., Jiang J., Qian J. D. et al.** (2002) - The crustal micro-deformation anomaly and the credible precursor (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 103-108.
- Zhang Y., Wu Y., Lu P. J.** (2009) - Characteristics of deformation anomaly obtained from tilt and strain observation before the Wenchuan Ms8.0 earthquake (in Chinese). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 152-159.

**Zhang Z. D., Chen X. Z., Wu Z. Q. et al.** (1997) - Short-term and imminent anomalies of earthquake of load and unload response ratio of the well level to earth tides (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 217-225.

**Zhang Z. W., Cheng W. Z., Ruan X. et al.** (2009) - Seismicity and tectonic stress of the Longmenshan fault zone before 2008 Wenchuan Ms8.0 earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Geoscientica Sinica*, 31, p. 117-127.

**Zhao H. Y., Liang Z. B., Li B. Q. et al.** (1997) - Numerical simulation of precursors of Gonghe M7.0 earthquake in Qinghai Province (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 449-458.

**Zhou C. Y., Zhu Y. Q., Wang H. W. et al.** (1999) - Quantitative comparison screening of seismological indexes and research on the integrated prediction method in North China (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 232-237.

**Zhou L. Q., Liu J., Zhang X. D.** (2007) - Evolution of 3D velocity structure before Dayao M6.2 and M6.1 earthquakes in 2003 (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 29, p. 20-30.

**Zhou L. S., Qiu Z. H., Tang L. et al.** (2009) - Systemically checking-up strong earthquake precursory waves with wavelet analysis (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 1-12.

**Zhou S. Y., Shi S. Y., Shuai P.** (1997) - Research on temporal and spatial distribution evolutionary character and mechanism of crustal deformation field and after the Tangshan earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 693-701.

**Zhou S. Y., Shi S. Y., Wu Y. et al.** (1998) - Research on dynamics patterns and parameter characters of crustal deformation field before and after strong earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 49-57.

**Zhou S. Y., Wu Y., Shi S. Y. et al.** (2009) - Anomalous change of fault deformation before Wenchuan Ms8.0 earthquake and its comparison with response of other large earthquakes (in Chinese). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 140-151.

**Zhou Y. H., Tong Y. S., Xiao H.** (1999) - Impending and short-term precursory features of earthquakes studied in light of crustal deformation before the earthquake of Ms=7.0 in Lijiang (in Chinese). *Geological Review*, 45, p. 225-231.

**Zhu Y. Q., Wang S. X., Jiang Z. S. et al.** (2003) - Gravity variation before Kunlun mountain pass western Ms=8.1 earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 25, p. 291-297.

**Zúñiga F. R., Reyners M., Villamor P.** (2005) - Temporal variations of the earthquake data in the catalogue of seismicity of New Zealand. *Bulletin of the New Zealand Society of Earthquake Engineering*, 38, p. 87.

**Zúñiga F. R., Wiemer S.** (1995) - Variaciones artificiales de sismicidad y su evaluación. Algunos ejemplos en México. Monografía sobre Estudios de Sismología en México

**Zúñiga F. R., Wyss M.** (1995) - Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: Influence on b-value estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, p. 1858.

### 1.3. THERMOMETRIE, FLUX THERMIQUE, ATMOSPHÈRE (NUAGES)

**Chen M. H., Deng Z. H., Yang Z. Z. et al.** (2006) - Surface latent heat flux anomalies prior to the Indonesia Mw9.0 earthquake of 2004 (in Chinese & translated in English). *Chinese Science Bulletin*, 51, p. 118-120.

**Freund F., Takeuchi A., Lau B. W. S. et al.** (2007) – Stimulated infrared emission from rocks: assessing a stress indicator, *eEarth*, 2, 1-10.

**Lu Q. Q., Ding J. H., Cui C. Y.** (2000) - Probable satellite thermal infrared anomaly before the Zhangbei Ms=6.2 earthquake on January 10, 1998 (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 183-188.

**Qiang Z. J., Dian G. C., Li L. Z. et al.** (1998) - Satellite thermal infrared brightness temperature anomaly image--short-term and impending earthquake precursors (in Chinese & translated in English). *Science in China Series D: Earth Sciences*, 28, p. 564-574.

**Qiang Z. J., Du L. T.** (2001) - Earth degassing, forest fire and seismic activities (in Chinese). *Earth Science Frontiers*, 8, p. 235-245.

**Qu C. Y., Shan X. J., Ma J.** (2006) - Formation cause of thermal infrared high temperature belt along Honghe fault and its relation to earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 28, p. 91-97.

**Shou Z.** (2005) - Earthquake Vapor, a reliable precursor (review). *Geophysical Research Abstracts*, 7,

**Shou Z. H.** (2007) - The cloud of the Ms8.4 Indonesia earthquake on September 2007 (in English). *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, 45, p. 31-33.

**Shou Z. H.** (2007) - The recent successful M6.4 Indonesia earthquake prediction (in English). *New Concepts In Global Tectonics*, 42, p. 41-42.

**Shou Z. H.** (1999) - Earthquake clouds and short-term prediction- Earthquake clouds a reliable precursor (in English). *Science and Utopyap*. 53-57.

**Tang M. C., Gao X. Q.** (1997) - Analysis of the geothermal vortexes triggering the Xingtai earthquake in 1966 (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 379-385.

**Xu X. D., Xu X. M., Wang Y.** (2000) - Satellite infrared anomaly before the Nantou Ms=7.6 earthquake in Taiwan, China (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 666-669.

#### 1.4. HYDROGÉOCHIMIE

**Allegra L., Bella F., Della Monica G. et al.** (1983) - Radon and tilt anomalies detected before the Irpinia (South Italy) earthquake of November 23, 1980 at great distances from the epicenter. *Geophysical Research Letters*, 10, p. 269-272.

**Amin and Rama, B. S.** (1982) - A search for correlation between seismicity and radon anomaly in hot springs. *Journal of Earth System Science*, 91, p. 15-19.

**Amponsah P., Banoeng-Yakubo B., Andam A. et al.** (2008) - Soil radon concentration along fault systems in parts of south eastern Ghana. *Journal of African Earth Sciences*, 51, p. 39-48.

**Baldacci O., Bigazzi G., Cioni R. et al.** (1994) - Monitoring 222Rn in soil gas of Garfagnana (Tuscany) aimed at earthquake prediction. *Annali di geofisica*, XXXVII, p. 861-881.

**Barsukov V. L., Serebrennikov V. S., Belyaev A. A. et al.** (1985) - Some experience in unraveling geochemical earthquake precursors. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 157-163.

**Barsukov V. L., Varshal G. M., Zamokina N. S.** (1985) - Recent results of hydrogeochemical studies for earthquake prediction in the USSR. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 143-156.

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M. et al.** (1995) - Helium content in thermal waters in the Caucasus from 1985 to 1991 and correlations with the seismic activity. *Tectonophysics*, 246, p. 263-278.

**Biagi P. F., Castellana L., Minafra A. et al.** (2006) - Groundwater chemical anomalies connected with the Kamchatka earthquake (M=7.1) on March 1992. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, p. 853-859.

**Biagi P. F., Piccolo R., Ermini A. et al.** (2001) - Hydrogeochemical precursors of strong earthquakes in Kamchatka: further analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, p. 9-14.

**Biagi P. F., Piccolo R., Minafra A. et al.** (2004) - Retrospective analysis for detecting seismic precursors in groundwater argon content. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, p. 9-15.

**Borghiellini S., Bernat M., Campredon R.** (1991) - Ground variation of radon 222 for location of hidden structural features. Example of the South of France (Alpes Maritimes). *Pure and Applied Geophysics*, 135, p. 625-638.

- Cao X. L., Bian Q. K.** (2004) - Recurrence anomaly of ground water behavior before strong earthquakes in North China (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26 Supp., p. 154-161.
- Cao X. L., Zhang S. X.** (1999) - Dynamic analysis of water level in the Wanquan well and the precursory anomalies of earthquakes (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 357-364.
- Chadha R. K., Pandey A. P.** (2003) - Search for earthquake precursors in well water levels in a localized seismically active area of Reservoir Triggered Earthquakes in India. *Geophysical Research Letters*, 30, p. 69/1-4.
- Che Y. T., Yu J. Z., Li W. Z. et al.** (1999) - The subsurface fluid anomaly field and its genesis of Zhangbei-Shangyi earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 215-223.
- Che Y. T., Yu J. Z., Liu W. Z.** (1999) - Dynamic monitoring of degassing of the crust and prediction of the Zhangbei-Shangyi earthquake of magnitude 6.2 (in Chinese). *Geological Review*, 45, p. 59-65.
- Che Y. T., Yu J. Z., Zhang S. L. et al.** (2002) - The records of water level "precursors" and their discussion in well Shuzhou, Shanxin Province (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 210-216.
- Che Y. T., Liu C. L., Yu J. Z. et al.** (2008) - Underground fluid anomaly and macro anomaly of Ms8.0 Wenchuan Earthquake and opinions about earthquake prediction (in Chinese). *Seismology and Geology*, 30, p. 828-838.
- Chenglong L., Guangcai W., Weihua Z. et al.** (2009) - Coseismic response of well water level in Three Gorges well-network to Ms8.0 earthquake in Wenchuan. *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 188-194.
- Chia Y., Chiu J. J., Chiang Y. H. et al.** (2008) - Spatial and temporal changes of groundwater level induced by thrust faulting. *Pure and Applied Geophysics*, 165, p. 5-16.
- Dasa N. K., Choudhury H., Bhandaria R. K. et al.** (2006) - Continuous monitoring of 222Rn and its progeny at a remote station for seismic hazard surveillance. *Radiation Measurements*, 41, p. 634-637.
- Du X. B., Liu Y. W., Ni M. K.** (1997) - On the spatial characteristics of the short-term and imminent anomalies of underground water behaviors before strong earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 523-533.
- Erees F. S., Aytas S., Sac M. M. et al.** (2007) - Radon concentrations in thermal waters related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey. *Radiation Measurements*, 42, p. 80-86.

**Federico C., Pizzino L., Cinti D. et al.** (2008) - Inverse and forward modelling of groundwater circulation in a seismically active area (Monferrato, Piedmont, NW Italy): insights into stress-induced variations in water chemistry. *Chemical Geology*, 248, p. 14-39.

**Finkelstein M., Eppelbaum L. V., Price C.** (2006) - Analysis of temperature influences on the amplitude-frequency characteristics of Rn gas concentration. *Journal of Environmental Radioactivity*, 86, p. 251-270.

**Gao Q. W., Li N.** Relationship between H<sub>2</sub> release and seismicity on Xiadan Fault (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 501-505.

**Garcia-Vindas J. R., Loria M. L. G., Ricardo Jimenez D.** (2000) - Ejemplos de anomalías del radón 222 como precursoras de eventos sísmicos en Costa Rica. *Revista Geologica de America Central*, 23, p. 87-96.

**Géli L., Henry P., Zitter T. et al.** (2008) - Gas emissions and active tectonics within the submerged section of the North Anatolian Fault zone in the Sea of Marmara. *Earth and Planetary Science Letters*, 274, p. 34-39.

**Grillot J. C., Le Clezio M., Bodoyan A.** (1995) - Filtrages piézométriques préliminaires à l'analyse du comportement des eaux souterraines lors des crises sismiques: exemple dans le petit Caucase. *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques*, 40, p. 647-662.

**Hartmann J., Levy J. K.** (2006) - The influence of seismotectonics on precursory changes in groundwater composition for the 1995 Kobe earthquake, Japan. *Hydrogeology Journal*, 14, p. 1307-1318.

**Hauksson E.** (1981) - Radon content of groundwater as an earthquake precursor: evaluation of worldwide data and physical basis. *Journal of Geophysical Research*, 86, p. 9397-9410.

**Huilong X., Oki Y., Sato O.** (2005) - Expulsion of geopressured hydrothermal system along active faults and its relation to the occurrence of earthquakes in the Shinanogawa seismic belt, Japan. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 48, p. 273-281.

**Inan S., Seyis C., Ergintav S. et al.** (2003) - Spring water and soil radon gas monitoring: a search for possible precursors of earthquake activity in the Marmara region (NW Turkey). *Geophysical Research Abstracts*, 5,

**Jónsson S., Einarsson P.** (1996) - Radon anomalies and earthquakes in the South Iceland Seismic Zone 1977-1993. In: *Seismology in Europe* (Ed. B. Thorkelsson et al.), European Seismological Commission, Reykjavík, p. 247-252.

**Kang L. X., Zhang X. J., Huang X. Z. et al.** (1999) - Comparative study on degassing activities along the north fault zone of Western Qinling. *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 716-723.

- Kawabe I., Ohno I., Nadano S.** (1988) - groundwater flow records indicating earthquake occurrence and induced earth's free oscillations. *Geophysical Research Letters*, 15, p. 1235-1238.
- Khilyuk L. F., Chilingai G. V., Robertson Jr. J. O. et al.** (2001) - Gas migration and events preceding earthquakes (book review). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 29, p. 83-84.
- King C. Y., Azuma S., Ohno M. et al.** (2000) - In search of earthquake precursors in the water-level data of 16 closely clustered wells at Tono, Japan. *Geophysical Journal International*, 143, p. 469-477.
- King C. Y., Zhang W., Zhang Z.** (2006) - Earthquake-induced groundwater and gas changes. *Pure and Applied Geophysics*, 163, p. 633-645.
- Kingsley S. P., Anderson C. W., Biagi P. F. et al.** (1999) - Analysis of argon concentration anomalies in underground water in Kamchatka (Russia). *// Nuovo Cimento*, 22C, p. 407-413.
- Kingsley S. P., Biagi P. F., Piccolo R. et al.** (2001) - Hydrogeochemical precursors of strong earthquakes: a realistic possibility in Kamchatka. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, p. 769-774.
- Kissin I. G., Grinevsky A. O.** (1990) - Main features of hydrogeodynamic earthquake precursors. *Tectonophysics*, 178, p. 277-286.
- Koch U., Heinicke J.** (2007) - Hydrological influences on long-term gas flow trends at locations in the Vogtland/NW Bohemian seismic region (German-Czech border). *Annals of Geophysics*, 50, p. 557-568.
- Koch U., Heinicke J., Voßberg M.** (2003) - Hydrogeological effects of the latest Vogtland-NW Bohemian swarmquake period (August to December 2000). *Journal of Geodynamics*, 35, p. 107-123.
- Koizumi N., Kitagawa Y., Matsumoto N. et al.** (2004) - Preseismic groundwater level changes induced by crustal deformations related to earthquake swarms off the east coast of Izu Peninsula, Japan. *Geophysical Research Letters*, 31,
- Koizumi N., Tsukuda E., Kamigaishi O. et al.** (1999) - Preseismic changes in groundwater level and volumetric strain associated with earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula, Japan. *Geophysical Research Letters*, 26, p. 3509-3512.
- La Delfa S., Immè G., Lo Nigro S. et al.** (2007) - Radon measurements in the SE and NE flank of Mt. Etna (Italy). *Radiation Measurements*, 42, p. 1404-1408.
- Lapenna V., Martinelli G., Telesca L.** (2004) - Long-range correlation analysis of earthquake-related geochemical variations recorded in Central Italy. *Chaos, Solitons and Fractals*, 21, p. 491-500.

**Léonardi V.** (1997) - Interprétation de l'effet des séismes locaux sur le comportement hydraulique des aquifères : cas du bassin artésien de l'Arax et de la nappe libre des basaltes de Carni (Arménie). *Thèse, Université Montpellier-II, Mémoires Géosciences-Montpellier*, 202 p.

**Leonardi V., Arthaud F., Tovmassian A. et al.** (1997) - Relationships between seismic activity and piezometric level changes in the Arax basin (SW Armenia): attempt at a typology of seismically induced piezometric anomalies. *Tectonophysics*, 273, p. 293-316.

**Léonardi V., Arthaud F., Tovmassian A. et al.** (1998) - Tectonic and seismic conditions for changes in spring discharge along the Garni right lateral strike slip fault (Armenian Upland). *Geodinamica Acta*, 11, p. 85-103.

**Léonardi V., Kharatian K., Igumnov V. et al.** (1999) - Variations d'origine sismique de la piézométrie, de l'hydrochimie et de l'émission d'hélium dans des réservoirs artésiens en Arménie. *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, 328, p. 51-58.

**Li Q. S., Jin Y. M., Miao Z. C. et al.** (1998) - An analysis of anomalous weather and climate around the Ms=6.2 earthquake of Zhangbei region (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 729-736.

**Li S. Q., Sun Q., Luo L. Q. et al.** (2006) - Relationship between earthquakes and the gas geochemical anomalies in the 0~2000m mud of Chinese Continental Scientific Drilling hole (in Chinese). *Acta Petrologica Sinica*, 22, p. 2095-2102.

**Liu L. B., Roeloffs E., Zheng X. Y.** (1989) - Seismically induced water level fluctuations in the Wali well, Beijing, China. *Journal of Geophysical Research*, 94, p. 9453-9462.

**Liu M. Q., Zhu Z. P., Fang S. M. et al.** (1999) - Anomalies of geophysical field in deep crust and earthquake in Central- South Shanxi (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 335-344.

**Liu Y. W., Shi J.** (2000) - Information characteristics of ground fluid precursors of strong continental earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 102-107.

**Lombardi S., Etiope G.** Radon and helium soil-gas tracers of active and seismic tectonic structures in Italy. *Proceedings of the scientific meeting on the seismic protection, Venice, 12-13 July, 1993, Palazzo Balbi*

**Lyubushin Jr. A. A., Kopylova G. N., Khatkevich Y. M.** (1997) - Analysis of the spectral matrices of hydrogeological observations at the Petropavlovsk Geodynamic Research Site, Kamchatka, and their comparison with the seismic regime. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 33, p. 497-507.

- Majumdar K.** (2004) - A study of fluctuation in radon concentration behaviour as an earthquake precursor. *Current Science*, 86, p. 1288-1292.
- Martinelli G.** (2000) - The possible joint appearance of pre-seismic geochemical and geoelectrical anomalies in tectonically active areas. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25, p. 337-341.
- Martinelli G., Albarello D.** (1997) - Main constraints for siting monitoring networks devoted to the study of earthquake related hydrogeochemical phenomena in Italy. *Annali di Geofisica*, XL, p. 1505-1525.
- Monnin M. M., Seidel J. L.** (1997) - Physical models related to radon emission in connection with dynamic manifestations in the upper terrestrial crust: a review. *Radiation Measurements*, 28, p. 703-712.
- Montgomery D. R., Manga M.** (2003) - Streamflow and water well responses to earthquakes. *Science*, 300, p. 2047-2049.
- Muir-Wood R., King G. C. P.** (1993) - Hydrological signatures of earthquake strain. *Journal of Geophysical Research*, 98, p. 22,035-22,068.
- Nagamine K., Sugisaki R.** (1991) - Coseismic changes of subsurface gas compositions disclosed by an improved seismo-geochemical system. *Geophysical Research Letters*, 18, p. 2221-2224.
- Papastefanou C., Manolopoulou M., Stoulos S. et al.** (1999) - Radon measurements in association with earthquakes. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 393-398.
- Planinic J., Radolic V., Culo D.** (2000) - Searching for an earthquake precursor: temporal variations of radon in soil and water. *Fizika B (Zagreb)*, 9, p. 75-82.
- Planinic J., Radolic V., Lazanin Z.** (2001) - Temporal variations of radon in soil related to earthquakes. *Applied Radiation and Isotopes*, 55, p. 267-272.
- Plastino W., Bella F., Catalano P. G. et al.** (2002) - Radon groundwater anomalies related to the Umbria-Marche, September 26, 1997, earthquakes. *Geofisica Internacional*, 41, p. 369-375.
- Pulinets S. A., Alekseev V. A., Boyarchuk K. A. et al.** (1999) - Radon and ionosphere monitoring as a means for strong earthquakes forecast. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 621-626.
- Quattrocchi F., Favara R., Capasso G. et al.** (2003) - Thermal anomalies and fluid geochemistry framework in occurrence of the 2000-2001 Nizza Monferrate seismic sequence (Northern Italy): episodic changes in the fault zone heat flow or chemical mixing phenomena? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, p. 269-277.
- Ramana D. V., Chadha R. K., Singh C. et al.** (2007) - Water level fluctuations due to earthquakes in Koyna-Warna region, India. *Natural Hazards*, 40, p. 585-592.

**Ramirez-Guzman A., Taran Y. A., Bernard R.** (2005) - Variations in the Cl, SO<sub>4</sub>, δD and δ<sup>18</sup>O in water from thermal springs near Acapulco, Guerrero, Mexico, related to seismic activity. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16, p. 731-743.

**Rice J. R., Cleary M. P.** (1976) - Some basic stress diffusion solutions for fluid-saturated elastic porous media with compressible constituents. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 14, p. 227-241.

**Rigo, A.** (2010) Precursors and fluid flows in the case of the 1996, ML=5.2 Saint-Paul de Fenouillet earthquake (Pyrénées, France): a complete pre-, co- and post-seismic scenario. *Tectonophysics*, in press.

**Roeloffs E.** (1988) - Hydrologic precursors to earthquakes: a review. *Pure and Applied Geophysics*, 126, p. 177-209.

**Roeloffs E.** (1996) - Poroelastic techniques in the study of earthquake-related hydrologic phenomena. *Advances in Geophysics*, 37, p. 135-195.

**Roeloffs E., Sneed M., Galloway D. L. et al.** (2003) - Water-level changes induced by local and distant earthquakes at Long Valley caldera, California. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 127, p. 269-303.

**Salazar J. M. L., Perez N. M., Hernandez P. A. et al.** (2002) - Precursory use carbon dioxide degassing signature related to a 5.1 magnitude earthquake in El Salvador, Central America. *Earth and Planetary Science Letters*, 205, p. 81-89.

**Sato T., Matsumoto N., Kitagawa Y. et al.** (2004) - Changes in groundwater level associated with the 2003 Tokachi-Oki earthquake. *Earth Planets Space*, 56, p. 395-400.

**Sato T., Takahashi M., Matsumoto N. et al.** (1995) - Anomalous ground water discharge after the 1995 Kobe (Hyogo-ken-nanbu) earthquake in the Awaji Island. *Chichitsu News*, 491, p. 29-32.

**Segovia N., De La Cruz-Reyna S., Mena M. et al.** (1989) - Radon in soil anomaly observed at Los Azufres geothermal field, Michoacan: a possible precursor of the 1985 Mexico earthquake (Ms = 8.1). *Natural Hazards*, 1, p. 319-329.

**Seminsky K. Z., Bobrov A. A.** (2009) - Radon activity of faults (western Baikal and southern Angara areas). *Russian Geology and Geophysics*, 50, p. 682-692.

**Shapiro M. H., Rice A., Mendenhall M. H. et al.** (1985) - Recognition of environmentally caused variations in radon time series. *Pure and Applied Geophysics*, 122, p. 309-326.

**Singh M., Kumar M., Jain R. K. et al.** (1999) - Radon in ground water related to seismic events. *Radiation Measurements*, 30, p. 465-469.

- Song S. R., Ku W. Y., Chen Y. L. et al.** (2006) - Hydrogeochemical anomalies in the springs of the Chiayi Area in West-central Taiwan as possible precursors to earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, 163, p. 675-691.
- Sugisaki R., Sugiura T.** (1986) - Gas anomalies at three mineral springs and a fumarole before an inland earthquake, Central Japan. *Journal of Geophysical Research*, 91, p. 12296-12304.
- Takahata N., Igarashi G., Sano Y.** (1997) - Continuous monitoring of dissolved gas concentrations in groundwater using a quadrupole mass spectrometer. *Applied Geochemistry*, 12, p. 377-382.
- Tedesco D., Pece R., Avino R.** (1996) - Radon, pH and temperature monitoring in water wells at Campi Flegrei caldera (southern Italy). *Geochemical Journal*, 30, p. 131-138.
- Tedesco D., Scarsi P.** (1999) - Chemical (He, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Ne, Ar, N<sub>2</sub>) and isotopic (He, Ne, Ar, C) variations at the Solfatara crater (southern Italy): mixing of different sources in relation to seismic activity. *Earth and Planetary Science Letters*, 171, p. 465-480.
- Teng T. L.** (1980) - Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. *Journal of Geophysical Research*, 85, p. 3089-3099.
- Teng T. L., Sun L. F.** (1986) - Research on groundwater radon as a fluid phase precursor to earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 91, p. 12305-12313.
- Toutain J. P., Baubron J. C.** (1999) - Gas geochemistry and seismotectonics: a review. *Tectonophysics*, 304, p. 1-27.
- Tsukuda T.** (2008) - Radon-gas monitoring by gamma-ray measurements on the ground for detecting crustal activity changes - preliminary study by repeat survey method. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 83, p. 227-241.
- Tsunomori F., Kuo T.** (2009) - A mechanism for radon decline prior to the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake in Japan. *Radiation Measurements*, In press, p. doi:10.1016/j.radmeas.2009.08.003.
- Utkin V.I., Yurkov A.K.** (2010) Radon as a tracer of tectonic movements, Russian Geology and Geophysics 51, 220-227.
- Virk H. S., Singh B.** (1993) - Radon anomalies in soil-gas and groundwater as earthquake precursor phenomena. *Tectonophysics*, 227, p. 215-224.
- Wakita H.** (1984) - Water wells as possible indicators of tectonic strain. *Science*, 189, p. 553-555.
- Wakita H., Igarashi G., Nakamura Y. et al.** (1989) - Coseismic radon changes in groundwater. *Geophysical Research Letters*, 16, p. 417-420.

**Wakita H., Igarashi G., Notsu K.** (1991) - An anomalous radon decrease in groundwater prior to an M6.0 earthquake: a possible precursor? *Geophysical Research Letters*, 18, p. 629-632.

**Woith H., Milkereit C., Maiwald U. et al.** (1999) - Physico-chemical behaviour of underground waters after the October 1, 1995 Dinar earthquake, SW Turkey. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 387-391.

**Xiao J. H., Zhang R. F.** (1997) - Dynamic picture analyse of mercuric gas in water about the earthquake in Qicun (in Chinese). *Acta Geoscientia Sinica*, 18, p. 407-412.

**Xu C. F.** (1997) - The crustal fluid evolution and the causes of earthquakes (III) (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 173-180.

**Xu B., Xu X.** (2005) - Continue exploration on forecasting earthquakes by seismic clouds. *Science Technology and Engineering*, 5, p. 1705-1709.

**Xu C. F.** (1997) - The crustal fluid evolution and the causes of earthquakes (III). *Acta Seismologica Sinica*, 10, p. 173-180.

**Yakovleva V. S.** (2003) - The radon flux density from the Earth's surface as an indicator of a seismic activity. *Proceedings of ICGG7p*. 28-30.

**Yang H. Y., Hu J. F., Zhao H. et al.** (2009a) - Crust-mantle structure and seismogenic background of Wenchuan MS8.0 earthquake in Western Sichuan area (in Chinese & translated in English). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 356-364.

**Yang M. B., Kang Y. H., Zhang Q. et al.** (2009a) - Tendencious fall of groundwater table in Beijing region and recognition of earthquake precursor information (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 282-289.

**Yang T. F., Walia V., Chyi L. L. et al.** (2005) - Variations of soil radon and thoron concentrations in a fault zone and prospective earthquakes in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 40, p. 496-502.

**Yang Z. Z., Deng Z. H., Tao J. L. et al.** (2007) - Coseismic effects of water temperature based on digital observation from Tayuan well, Beijing. *Acta Seismologica Sinica*, 20, p. 212-223.

**Yang Z. Z., Deng Z. H., Zhao Y. X. et al.** (2005) - Preliminary study on coseismic step-like changes of water-level in the Dazhai well, Simao city, Yunnan Province. *Acta Seismologica Sinica*, 18, p. 611-617.

**Yao Q. L., Qiang Z. J., Wang Y. P.** (2005) - CO release from the Tibetan plateau before earthquakes and increasing temperature anomaly showing in thermal infrared images of satellite (in Chinese). *Advances in Earth Sciences*, 20, p. 505-510.

**Zafrir H., Steinitz G., Malik U. et al.** (2009) - Response of Radon in a seismic calibration explosion. *Radiation Measurements*, 44.

**Zeng L. S., Xu Z. Q., Luo L. Q. et al.** (2005) - 2004 Mw 9.3 Sumatra-Andeman earthquake and gas geochemistry anomalies in CCSO borehole: a possible ultra-remote linkage (in Chinese). *Acta Petrologica Sinica*, 21, p. 521-524.

**Zhang Z., Zhang W.** (1999) - The correlation between variation of radon content in groundwater and earthquakes. *Il Nuovo Cimento*, 22C, p. 443-448.

**Zhang H., Liang Z. B.** (2000) - Numerical simulation of spatial-temporal evolution characteristics of subsurface fluid based on strong body seismogenic model (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 176-182.

**Zhang S. L., Li Y. Y., Li D. M. et al.** (2006) - Analysis on responding ability of well-aquifer system to precursors (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 28, p. 259-268.

**Zmazek B., Italiano F., Zivcic M. et al.** (2002) - Geochemical monitoring of thermal waters in Slovenia: relationships to seismic activity. *Applied Radiation and Isotopes*, 57, p. 919-930.

**Zmazek B., Todorovski L., Dzeroski S. et al.** (2003) - Application of decision trees to the analysis of soil radon data for earthquake prediction. *Applied Radiation and Isotopes*, 58, p. 697-706.

**Zmazek B., Todorovski L., Zivcic M. et al.** (2006) - Radon in a thermal spring: identification of anomalies related to seismic activity. *Applied Radiation and Isotopes*, 64, p. 725-734.

**Zmazek B., Zivcic M., Vaupotic J. et al.** (2002) - Soil radon monitoring in the Krsko Basin, Slovenia. *Applied Radiation and Isotopes*, 56, p. 649-657.

## 1.5. ELECTROMAGNETISME, METHODES SATELLITAIRES

**Aliano C., Corrado R., Filizzola C. et al.** (2008) - Robust satellite techniques (RST) for the thermal monitoring of earthquake prone areas: the case of Umbria-Marche October, 1997 seismic events. *Annals of Geophysics*, 51, p. 451-459.

**Balassanian S., Mouradian A., Sahakian A. et al.** (1997) - The investigation of electromagnetic precursors to earthquakes in Armenia. *Annali di Geofisica*, XL, p. 209-225.

**Bashkuev Y. B., Naguslaeva I. B., Malyshkov Y. P. et al.** (2006) - Electromagnetic "seismic calm" effect in the Baikal rift zone. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, p. 336-340.

**Bhattacharya S., Sarkar S., Gwal A. K. et al.** (2009) - Electric and magnetic field perturbations recorded by DEMETER satellite before seismic events of the 17th July 2006 M 7.7 earthquake in Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, p. 634-644.

**Biagi P. F., Piccolo R., Castellana L. et al.** (2004) - VLF-LF radio signals collected at Bari (South Italy): a preliminary analysis on signal anomalies associated with earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, p. 685-689.

**Biagi P. F., Piccolo R., Ermini A. et al.** (2001) - Possible earthquake precursors revealed by LF radio signals. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, p. 99-104.

**Blaunstein N., Hayakawa M.** (2009) - Short-term ionospheric precursors of earthquakes using vertical and oblique ionosondes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, p. 496-507.

**Bo L. Q.** (2002) - Feasible study on the integration system for the space monitoring of major earthquakes and volcanoes in terrestrial land (in English). *Chinese Geographical Science*, 12, p. 350-353.

**Cai J. T., Chen X. B., Zhao G. Z. et al.** (2007) - Earthquake precursor: the anomalies in the ionospheric F2 region (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 22, p. 720-728.

**Cao B. X., Xue J. H., Qiao X. L.** (2009) - Research progress on detection technology of seism-ionospheric disturbances (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 24, p. 51-57.

**Chen A. T., Ouchi T., Lin A. et al.** (2000) - Phenomena associated with the 1999 Chin-Chi earthquake in Taiwan, possible precursors and after effects. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 11, p. 689-700.

**Colangelo G., Lapenna V., Telesca L.** (2008) - Study of self potential anomalous fluctuations in a seismic active zone of Lucano Apennine (southern Italy): recent results. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 1099-1104.

**Colangelo G., Lapenna V., Telesca L.** (2005) - Vertical dipoles to detect self potential signals in a seismic area of southern Italy: Tito station. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, p. 667.

**Ding J. H., Liu J., Yu S. R. et al.** (2004) - Geomagnetic diurnal-variation anomalies and their relation to strong earthquakes (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26 Supp, p. 79-87.

**Draganov A. B., Inan U. S., Taranenko Y. N.** (1991) - ULF magnetic signatures at the Earth surface due to ground water flow: a possible precursor to earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 18, p. 1127-1130.

**Du X. B., Xue S. Z., Hao Z. et al.** (2000) - On the relation of moderate-short term anomaly of earth resistivity to earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 22, p. 368-376.

**Eftaxias K., Kapiris P., Polyaianakis J. et al.** (2001) - Signature of pending earthquake from electromagnetic anomalies. *Geophysical Research Letters*, 28, p. 3321-3324.

**Enescu B. D., Enescu D., Constantin A. P.** (1999) - The use of electromagnetic data for short-term prediction of Vrancea (Romania) earthquakes: Preliminary data. *Earth Planets Space*, 51, p. 1099-1117.

**Enomoto Y., Tsutsumi A., Fujinawa Y. et al.** (1997) - Assessment of schemes for earthquake prediction-Candidate precursors: pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan. *Geophysical Journal International*, 131, p. 485-494.

**Enomoto Y., Tsutsumi A., Fujinawa Y. et al.** (1997) - Candidate precursors: pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan. *Geophysical Journal International*, 131, p. 485-494.

**Farnsworth et al.** (1997) - Method and apparatus for detecting local precursor seismic activity. *US patent No. 5625348*

**Fenoglio M. A., Johnston M. J. S., Byerlee J. D.** (1995) - Magnetic and electric fields associated with changes in high pore pressure in fault zones: Application to the Loma Prieta ULF emissions. *Journal of Geophysical Research*, 100, p. 12951-12958.

**Feng Z. S., Yang J. J., Mei W. P. et al.** (2004) - Preliminary study on characteristics of earthquake precursor of earth resistivity anisotropy degree in East China (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26, p. 223-227.

**Fujinawa Y., Takahashi K.** (1998) - Electromagnetic radiations associated with major earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, p. 249-259.

**Fujinawa Y., Takahashi K., Matsumoto T. et al.** (2001) - Electric field variations related to seismic swarms. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 76, p. 391-415.

**Fuying Z., Yun W., Jian L. et al.** (2009) - Anomalous reponse of ionospheric VTEC before the Wenchuan earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 180-187.

**Gershenson N., Gokhberg M.** (1993) - On the origin of electrotelluric disturbances prior to an earthquake in Kalamata, Greece. *Tectonophysics*, 224, p. 169-174.

**Hao J. G., Tang T. M., Li D. R.** (1998) - Evaluation the statistical validity regard static electric field anomalies as earthquake precursors (in Chinese). *Earthquake Research in China*, 14, p. 167-172.

**Hao J. G., Tang T. M., Li D. R.** (1998) - A kind of information on short-term and imminent earthquake precursors -- research on atmospheric electric field anomalies before earthquakes (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 11, p. 121-131.

**Hattori K., Takahashi I., Yoshino C. et al.** (2004) - ULF geomagnetic field measurements in Japan and some recent results associated with Iwateken Nairiku Hokubu earthquake in 1998. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, p. 481-494.

**Hayakawa M.** (2000) - Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes (book review). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62, p. 225-227.

**Kang C. L., Han Y. B., Liu D. F. et al.** (2008) - The OLR (Outgoing Long-wave Radiation) anomaly and mechanism before Tibet earthquake (M6.9) (in Chinese). *Progress in Geophysics*, 23, p. 1703-1708.

**Karakelian D., Klemperer S. L., Fraser-Smith A. C. et al.** (2002) - Ultra-low frequency electromagnetic measurements associated with the 1998 Mw 5.1 San Juan Bautista, California earthquake and implications for mechanisms of electromagnetic earthquake precursors. *Tectonophysics*, 359, p. 65-79.

**Kasahara Y., Muto F., Horie T. et al.** (2008) - On the statistical correlation between the ionospheric perturbations as detected by subionospheric VLF/LF propagation anomalies and earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 653-656.

**Kawate R., Molchanov O. A., Hayakawa M.** (1998) - Ultra-low-frequency magnetic fields during the Guam earthquake of 8 August 1993 and their interpretation. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, p. 229-238.

**Konstantaras A., Makris J. P., Vallianatos F. et al.** (2007) - On the electric field transient anomaly observed at the time of the Kythira M=6.9 earthquake on January 2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, p. 677-682.

**Konstantaras A., Fouskitakis G. N., Makris J. P. et al.** (2008) - Stochastic analysis of geo-electric field singularities as seismically correlated candidates. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p. 1451-1462.

**Kopytenko Y. A., Matiashvili T. G., Voronov P. M. et al.** (1993) - Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 77, p. 85-95.

**Kotsarenko A., Pérez-Enríquez R., López Crus-Abeyro et al.** (2004) - Analysis of the ULF electromagnetic emission related to seismic activity, Teoloyucan geomagnetic station, 1998-2001. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4,

**Li W. X., Jin M. P., Ma J. K.** (2003) - Electromagnetic wave anomaly characteristics before strong earthquakes and its prediction significance in Yunnan area (in Chinese). *Earthquake*, 23, p. 77-84.

**Lin J., Wu Y., Zhu F. Y. et al.** (2009) - Wenchuan earthquake ionosphere TEC anomaly detected by GPS (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 297-300.

**Ma Q. Z.** (2008) - Multi-dipole observation system and study on the abnormal variation of the geoelectric field observed at Capital Circle area before the Wen'an Ms5.1

earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 30, p. 615-625.

**Ma Q. Z., Feng Z. S., Song Z. P. et al.** (2004) - Study on the variation characteristics of the geoelectric field preceding earthquakes (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 26, p. 304-312.

**Madden T. R., Mackie R. L.** (1996) - What electrical measurements can say about changes in fault systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, p. 3776.

**Mao T. E., Xu G. Y., Fan S. Y. et al.** (1999) - Dynamic evolution patterns of the degree of ground resistivity anisotropy and the seismogenic process (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 199-206.

**Mao X. J., Qian J. D.** (2001) - The "Peeling" method to process apparent resistivity data for earthquake precursory monitoring (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 645-650.

**Mavrodiev S. C.** (2002, 2003) On the reliability of the geomagnetic quake as short time earthquake's precursor for Sofia Region. *Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia*.

**Molchanov O. A., Hayakawa M.** (2001) - VLF monitoring of atmosphere-ionosphere boundary as a tool to study planetary waves evolution and seismic influence. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, p. 453-458.

**Molchanov O. A., Hayakawa M.** (1995) - Generation of ULF electromagnetic emissions by microfracturing. *Geophysical Research Letters*, 22, p. 3091-3094.

**Molchanov O. A., Hayakawa M., Rafalsky V. A.** (1995) - Penetration characteristics of electromagnetic emissions from an underground seismic source into the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere. *Journal of Geophysical Research*, 100, p. 1691-1712.

**Molchanov O. A., Kopytenko Y. A., Voronov P. M. et al.** (1992) - Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak (M=6.9) and Loma Prieta (M=7.1) earthquakes: comparative analysis. *Geophysical Research Letters*, 19, p. 1495-1498.

**Molchanov O. A., Schekotov A. Y., Fedorov E. et al.** (2004) - Preseismic ULF effect and possible interpretation. *Annals of Geophysics*, 47, p. 119-131.

**Mueller R. J., Johnston M. J. S.** (1990) - Seismomagnetic effect generated by the October 18, 1989, M 7.1 Loma Prieta, California, earthquake. *Geophysical Research Letters*, 17, p. 1231-1234.

**Mullayarov V. A., Kozlov V. I., Ambursky A. V.** (2008) - Opportunities of using of electromagnetic signal of lightning discharges for the remote sensing of seismic

activity. *Proceedings of the 7th International Conference "Problems of Geocosmos"* (St. Petersburg, Russia, 26-30 May 2008)p. 457-460.

**Ouyang Z. X., Zhang H. X., Fu Z. Z. et al.** (2009) - Abnormal phenomena recorded by several earthquake precursor observation instruments before the Ms8.0 Wenchuan, Sichuan earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 83, p. 834-844.

**Ouyang X. Y., Zhang X. M., Shen X. H. et al.** (2008) - annospheric Ne disturbances before 2007 Pu'er, Yunnan, China, earthquake (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 30, p. 424-436.

**Parrot M.** (1995) - Use of satellites to detect seismo-electromagnetic effects. *Advances in Space Research*, 15, p. 27-35.

**Pham V. N., Boyer D., Chouliaras G. et al.** (2002) - Sources of anomalous transient electric signals (ATESs) in the ULF band in the Lamia region (central Greece): electrochemical mechanisms for their generation. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 130, p. 209-233.

**Pham V. N., Boyer D., Perrier F. et al.** (2001) - Mécanismes de génération de bruits telluriques dans la bande ultrabasse fréquence (UBF) : sources possibles des signaux dits « signaux électro-sismiques » (SES). *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, 333, p. 255–262.

**Pierce E. T.** (1976) - Atmospheric electricity and earthquake prediction. *Geophysical Research Letters*, 3, p. 185-188.

**Poirier J. P., Perrier F., Le Mouél J. L.** (2008) - On some electrical effects of the 1887 Ligurian earthquake. *Comptes Rendus de Geosciences*, 340, p. 203-210.

**Qian S. Q., Hao J. Q., Zhou J. G. et al.** (2001) - ULF electromagnetic precursors before the 1999 Jiji, Taiwan, earthquake and the comparison with results of simulating experiments (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 322-327.

**Qian F. Y., Zhao B. R., Qian W. et al.** (2009) - Impending HRT wave precursors to the Wenchuan Ms8.0 earthquake and methods of earthquake impending prediction by using HRT wave (in Chinese & translated in English). *Science in China Series D: Earth Sciences*, 39, p. 11-23.

**Qiang Z. J., Ma A. N., Chen F. Y. et al.** (2000) - Suggestion of EFS-small satellite system for impending earthquake forecast (in English). *Chinese Science Bulletin*, 45, p. 189-192.

**Rong Z., Dongmei Y., Feng J. et al.** (2008) - Ionospheric perturbations before Pu'er earthquake observed by the satellite DEMETER. *Acta Seismologica Sinica*, 30, p. 76-81.L

- Safaee B., Alimohammadi A.** Using remote sensing technology for detection of electromagnetic earthquake precursors. *KN Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*
- Saroso S., Hattori K., Ishikawa H. et al.** (2009) - ULF geomagnetic anomalous changes possibly associated with 2004-2005 Sumatra earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, p. 343-349.
- Sevgi L.** (2007) - A critical review on electromagnetic precursors and earthquake prediction. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 15, p. 1-15.
- Shalimov S., Gokhberg M.** (1998) - Lithosphere-ionosphere coupling mechanism and its application to the earthquake in Iran on June 20, 1990. A review of ionospheric measurements and basic assumptions. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, p. 211-218.
- Shou Z. H., Harrington D.** (2005) - Bam earthquake & space technology. <http://www.earthquakesignals.com/zhonghao296/news.html> p. 39-63.
- Slominska E., Blecki J., Parrot M. et al.** (2009) - Satellite study of VLF ground-based transmitter signals during seismic activity in Honshu Island. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, p. 464-473.
- Smith B. E., Johnston M. J. S.** (1976) - A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister, California. *Journal of Geophysical Research*, 81, p. 3556-3560.
- Sobolev G. A.** (1975) - Application of electric method to the tentative short-term forecast of Kamchatka earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, 113, p. 229-235.
- Tate et al.** (1986) - Seismic warning system using RF energy monitor. *US patent No. 4628299*
- Telesca L., Balasco M., Colangelo G. et al.** (2005) - Analysis of extreme events in geoelectrical time series measured in a seismic area of Southern Appenine Chain (Italy). *Natural Hazards*, 34, p. 177-198.
- Theoharatos C., Ifantis A., Laskaris N. A. et al.** (2008) - Charting of geoelectric potential signal dynamics via geometrical techniques and its possible relation to significant earthquakes in Western Greece. *Computers & Geosciences*, 34, p. 625-634.
- Thomas J. N., Love J. J., Johnston M. J. S.** (2009) - On the reported magnetic precursor of the 1989 Loma Prieta earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 173, p. 207-215.
- Tian S., Wang J. G., Xue X. G. et al.** (2009) - Research on the technique of extracting seismic precursory anomaly from telluric electric field observation (in Chinese). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 424-431.

**Uyeda S., Kamogawa M.** (2008) - The prediction of two large earthquakes in Greece. *EOS, transactions*, 39, p. 363.

**Varotsos P. A., Alexopoulos K.** (1984) - Physical properties of the variations of the electric field of the Earth preceding earthquakes. I. *Tectonophysics*, 110, p. 73-98.

**Varotsos P. A., Alexopoulos K.** (1984) - Physical properties of the variations of the electric field of the Earth preceding earthquakes. II. Determination of epicenter and magnitude. *Tectonophysics*, 110, p. 99-125.

**Varotsos P. A., Alexopoulos K.** (1987) - Physical properties of the variations in the electric field of the earth preceding earthquakes, III. *Tectonophysics*, 136, p. 335-339.

**Wang W. X., Ding J. H., Yu S. R. et al.** (2009) - Short-term and imminent geomagnetic anomalies of the Wenchuan Ms8.0 earthquake and exploration on earthquake forecast (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 172-179.

**Wang Z. X., Zhang X. M., Li Y. Q. et al.** (1999) - Character of geoelectric intermediate-term precursory anomaly and judgment for intermediate-term tendency of strong earthquake (in English). *Acta Seismologica Sinica*, 12, p. 207-214.

**Warwick J. W., Stoker C., Meyer T. R.** (1982) - Radio emission associated with rock fracture: possible application to the Great Chilean Earthquake of May 22, 1960. *Journal of Geophysical Research*, 87, p. 2851-2859.

**Yepez E., Angulo-Brown F., Peralta J. A. et al.** (1995) - Electric field patterns as seismic precursors. *Geophysical Research Letters*, 22, p. 3087-3090.

**Yu T., Mao T., Wang Y. G. et al.** (2009) - Study of the ionospheric anomaly before the Wenchuan earthquake (in Chinese & translated in English). *Chinese Science Bulletin*, 54, p. 493-499.

**Zeng Z. C., Zhang B., Fang G. Y. et al.** (2009) - The analysis of ionospheric variations before Wenchuan earthquake with DEMETER data (in Chinese & translated in English). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 11-19.

**Zeng Z. C., Zhang B., Fang G. Y. et al.** (2009) - An analysis of ionospheric variation before the Wenchuan earthquake with DEMETER data. *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 13-22.

**Zhang G. D., Han Y. B., Zhao F. Y.** (2002) - Earthquake precursors detected by astronomical observations (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 75-81.

**Zeng Z. C., Zhang B., Fang G. Y. et al.** (2009) - The analysis of ionospheric variations before Wenchuan earthquake with DEMETER data (in Chinese & translated in English). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 11-19.

**Zeng Z. C., Zhang B., Fang G. Y. et al.** (2009) - An analysis of ionospheric variation before the Wenchuan earthquake with DEMETER data. *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 13-22.

**Zhang G. D., Han Y. B., Zhao F. Y.** (2002) - Earthquake precursors detected by astronomical observations (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 24, p. 75-81.

**Zhang J. S., Gao R., Zeng L. S. et al.** (2009) - Relationship between characteristics of gravity and magnetic anomalies and the earthquakes in Longmenshan range and adjacent areas (in Chinese). *Chinese Journal of Geophysics*, 52, p. 572-578.

**Zhang X., Shen X., Liu J. et al.** (2009) - Analysis of ionospheric plasma perturbations before Wenchuan earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, p. 1259-1266.

**Zhao Y., Qian F.** (1994) - Geoelectric precursors to strong earthquakes in China. *Tectonophysics*, 233, p. 99-113.

**Zhu F. Y., Wu Y., Lin J. et al.** (2009) - Anomalous reponse of ionospheric VTEC befor the Wenchuan earthquake (in Chinese). *Acta Seismologica Sinica*, 31, p. 180-187.

**Zhu T., Zhao H. Y.** (2001) - Theoretical research on geoelectric anomaly caused by streaming potential during earthquake preparation. *Acta Seismologica Sinica*, 14, p. 425-433.

**Zhu T., Zhao H. Y.** (2001) - Theortical research on geoelectric anomaly caused by streaming potential during earthquake preparation (in Chinese & translated in English). *Acta Seismologica Sinica*, 23, p. 398-406.



## 2. Bibliographie des numéros spéciaux

### 2.1. NUMERO SPECIAL DE « GEOPHYSICAL RESEARCH LETTER », 1981

**Caputo, M.** (1981), A note on a random stress model for seismicity statistics and earthquake prediction, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00485

**Chung, Y.** (1981), Radium 226 and radon 222 in southern California groundwaters: Spatial variations and correlations, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00457

**Cohen, S. C.** (1981), Postseismic rebound due to creep of the lower lithosphere and asthenosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00493

**Finkel, R. C.** (1981), Uranium concentrations and  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  activity ratios in fault associated groundwater as possible earthquake precursors, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00453

**Fleischer, R. L.** (1981), Dislocation model for radon response to distant earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00477

**Fongliang, J., and L. Guiru** (1981), The application of geochemical methods in earthquake prediction in China, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00469

**Fongliang, J., and L. Guiru** (1981), Experimental studies of the mechanisms of seismo geochemical precursors, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00473

**Hammond, D. E., T. L. Teng, L. Miller, and G. Haraguchi** (1981), A search for Covariance among seismicity, groundwater chemistry, and groundwater radon in southern California, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00445.

**King, C.** (1981), A special collection of reports on earthquake prediction: Hydrologic and geochemical studies, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00421.

**King, C., W. C. Evans, T. Presser, and R. H. Husk** (1981), Anomalous chemical changes in well waters and possible relation to earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00425

**Klusman, R. W.** (1981), Variations in Mercury and radon emission at an aseismic site, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00461

**McCreery, C. S.** (1981), High-frequency Pn,Sn phases recorded by ocean bottom seismometers on the Cocos Plate, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00489

**Mendenhall, M. H., M. H. Shapiro, J. D. Melvin, and T. A. Tombrello** (1981), Preliminary spectral analysis of near-real-time radon data, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00449

**Merifield, P. M., and D. L. Lamar** (1981), Anomalous water level changes and possible relation with earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00437

**Narasimhan, T. N., and W. A. Palen** (1981), Interpretation of a hydraulic fracturing experiment, Monticello, South Carolina, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00481

**O'Neil, J. R., and C. King** (1981), Variations in stable-isotope ratios of ground waters in seismically active regions of California, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00429

**Reimer, G. M.** (1981), Helium soil gas variations associated with recent central California earthquakes: Precursor or coincidence? *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00433

**Steele, S. R.** (1981), Radon and hydrologic anomalies on the Rough Creek Fault: Possible precursors to the M5.1 Eastern Kentucky Earthquake, 1980, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00465

**Teng, T., L. Sun, and J. K. McRaney** (1981), Correlation of groundwater radon anomalies with earthquakes in the Greater Palmdale Bulge Area, *Geophys. Res. Lett.*, 8(5), doi:10.1029/GL008i005p00441

## 2.2. VOLUME SPECIAL DE « TECTONOPHYSICS »

**Kiyoo Mogi**, Opening address, Pages xi-xii

**Keiiti Aki**, Higher-order interrelations between seismogenic structures and earthquake processes, 1-12

**Yasuhiro Umeda**, The bright spot of an earthquake, 13-22

**R. Dmowska, L.C. Lovison**, Influence of asperities along subduction interfaces on the stressing and seismicity of adjacent areas, 23-43

**Shingo Yoshida**, Waveform inversion for rupture process using a non-flat seafloor model: Application to 1986 Andreanof Islands and 1985 Chile earthquakes, 45-59

- Larry J. Ruff**, Asperity distributions and large earthquake occurrence in subduction zones, 61-83
- Alexander A. Gusev**, On relations between earthquake population and asperity population on a fault, 85-98
- P.K.P. Spudich**, On the inference of absolute stress levels from seismic radiation, 99-106
- Masayuki Kikuchi**, Strain drop and apparent strain for large earthquakes, 107-113
- James H. Dieterich**, Earthquake nucleation on faults with rate-and state-dependent strength, 115-134
- Mitsuhiko Matsu'ura**, Hiroshi Kataoka, Bunichiro Shibazaki, Slip-dependent friction law and nucleation processes in earthquake rupture, 135-148
- Mitiyasu Ohnaka**, Earthquake source nucleation: A physical model for short-term precursors, 149-178
- Teruo Yamashita, Mitiyasu Ohnaka**, Precursory surface deformation expected from a strike-slip fault model into which rheological properties of the lithosphere are incorporated, 179-199
- Takeshi Mikumo**, Dynamic fault rupture and stress recovery processes in continental crust under depth-dependent shear strength and frictional parameters, 201-222
- Takashi Miyatake**, Numerical simulation of three-dimensional faulting processes with heterogeneous rate- and state-dependent friction, 223-232
- Ian G. Main, Philip G. Meredith, Peter R. Sammonds**, Temporal variations in seismic event rate and b-values from stress corrosion constitutive laws, 233-246
- Hideo Yukutake**, Fracture nucleation process in intact rocks, 247-257
- Mitsuhiko Shimada**, Confirmation of two types of fracture in granite deformed at temperatures to 300°C, 259-268
- Naoyuki Kato, Kiyohiko Yamamoto, Hidekazu Yamamoto, Tomowo Hirasawa**, Strain-rate effect on frictional strength and the slip nucleation process, 269-282
- R.H. Sibson**, Implications of fault-valve behaviour for rupture nucleation and recurrence, 283-293
- J. Byerlee**, The change in orientation of subsidiary shears near faults containing pore fluid under high pressure, 295-303

**D.E. Moore, J. Byerlee**, Relationships between sliding behavior and internal geometry of laboratory fault zones and some creeping and locked strike-slip faults of California, 305-316

**Kümpel H.-J.** About the potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust, 317-336

**Enomoto Y., H. Hashimoto**, Transient electrical activity accompanying rock under indentation loading, 337-344

### **2.3. SECTION SPECIALE DE « GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL », 1997**

*Volume 131 Issue 3, Pages 413 - 594 (December 1997)*

#### ***Evaluation des schémas de prévisions des séismes (ASSESSMENT OF SCHEMES FOR EARTHQUAKE PREDICTION)***

**Evans Russ**, Assessment of schemes for earthquake prediction: Editor's introduction, 413-420, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06585.x, [PDF](#)

**J. B. Macelwane**, Forecasting earthquakes, 421-422, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06586.x, [PDF](#)

**Wyss, David C. Booth**, The IASPEI procedure for the evaluation of earthquake precursors, 423-424, Max DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06587.x, [PDF](#)

**Robert J. Geller**, Earthquake prediction: a critical review, 425-450, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06588.x, [PDF](#)

**P. C. Leary**, Rock as a critical-point system and the inherent implausibility of reliable earthquake prediction, 451-466, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06589.x, [PDF](#)

**P. Bernard, P. Pinettes, P. M. Hatzidimitriou, E. M. Scordilis, G. Veis, P. Milas**, From precursors to prediction: a few recent cases from Greece, 467-477, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06590.x, [PDF](#)

**Stathis C. Stiros**, Costs and benefits of earthquake prediction studies in Greece, 478-484, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06591.x, [PDF](#)

**Yuji Enomoto, Akito Tsutsumi, Yukio Fujinawa, Minoru Kasahara, Hiroshi Hashimoto**, Candidate precursors: pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan, 485-494, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06592.x, [PDF](#)

**Philip B. Stark**, Earthquake prediction: the null hypothesis, 495-499, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06593.x, [PDF](#)

**Francesco Mulargia**, Retrospective validation of the time association of precursors, 500-504, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06594.x, [PDF](#)

**Yan Y. Kagan**, Are earthquakes predictable? 505-525, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06595.x, [PDF](#)

**Robert A. J. Matthews**, Decision-theoretic limits on earthquake prediction, 526-529, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06596.x, [PDF](#)

**Steve Miller**, Earthquakes: prediction and the media—a case study in public understanding of science, 530-533, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06597.x [PDF](#)

**Gregory A. Houseman, David Gubbins**, Deformation of subducted oceanic lithosphere 535-551, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06598.x, [PDF](#)

**Gleb Morein, Donald L. Turcotte, Andrei Gabrielov**, On the statistical mechanics of distributed seismicity, 552-558, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06599.x, [PDF](#)

**Baker Calum, Denis Hatzfeld, Hélène Lyon-Caen, Eleftheria Papadimitriou, Alexis Rigo**, Earthquake mechanisms of the Adriatic Sea and Western Greece: implications for the oceanic subduction-continental collision transition, 559-594. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb06600.x, [PDF](#)

## 2.4. NUMERO SPECIAL DE « NATURE », 1999 – SERIE DE DISCUSSIONS ENTRE SISMOLOGUES

[http://www.nature.com/nature/debates/earthquake/equake\\_frameset.html](http://www.nature.com/nature/debates/earthquake/equake_frameset.html)

**Ian Main**, Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal? *Department of Geology and Geophysics, University of Edinburgh, Edinburgh, UK.*

**Robert J. Geller**, Earthquake prediction: is this debate necessary? *Department of Earth and Planetary Physics, Graduate School of Science, Tokyo University, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan.* [bob@global.geoph.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:bob@global.geoph.s.u-tokyo.ac.jp)

**Max Wyss**, Not yet, but eventually. *Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, USA*

**Pascal Bernard**, Earthquake precursors and crustal 'transients'. *Institut de Physique du Globe de Paris, France*

**Andrew Michael**, How well can we predict earthquakes? *United States Geological Survey, Menlo Park, California, USA*

**Leon Knopoff**, Earthquake prediction is difficult but not impossible. *Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, California, U.S.A.*

**Per Bak**, Consequences for earthquake predictions if they are indeed self-organized critical phenomena. *Department of Physics, Niels Bohr Institute, Blegdamevej 17, DK-2100 Copenhagen*

**David D. Jackson**, The status of earthquake prediction. *Southern California Earthquake Center, University of California, Los Angeles, CA 90095-1567 USA*

**David D. Bowman and Charles G. Sammis**, A case for intermediate-term earthquake prediction: don't throw the baby out with the bath water! *Department of Earth Sciences, University of Southern California, Los Angeles, USA.*

**Pier Francesco Biagi**, On the existence and complexity of empirical precursors,. *Physics Department, University of Bari, Bari, Italy.*

**Stuart Crampin**, Stress-forecasting: an apparently viable third strategy. *Centre for Reservoir Geoscience, Department of Geology & Geophysics, University of Edinburgh, Grant Institute, West Mains Road, Edinburgh EH9 3JW, SCOTLAND, [scrampin@ed.ac.uk](mailto:scrampin@ed.ac.uk).*

**Didier Sornette**, Interesting counterpoint to Ian Main's [concluding remarks](#) *Institute of Geophysics and Planetary Physics and Department of Earth and Space Sciences UCLA, Box 951567, 2810 Geology Bl, 595 E Circle Drive, Los Angeles, CA 90095-1567 and Director of Research National Center for Scientific Research LPMC, CNRS UMR6622 and Universite de Nice-Sophia Antipolis, B.P. 71, 06108 NICE Cedex 2, France.*

## 2.5. NUMEROS SPECIAUX DE « PURE AND APPLIED GEOPHYSICS », 2004, PP. 141-619

**King Chi-Yu**, Earthquake hydrology and chemistry, 141-142.

**Barsukov V. L., G. M. Varshal and N. S. Zamokina**, Recent results of hydrogeochemical studies for earthquake prediction in the USSR, 143-156.

**Barsukov V. L., V. S. Serebrenikov, A. A. Belyaev, Yu. A. Bakaldin and R. V. Arsenyeva**, Some Experience in unraveling geochemical earthquake precursors, 157-163.

**Nakamura Yuji and Hiroshi Wakita**, Precise temperature measurement of groundwater for earthquake-prediction study 164-174.

**Sugisaki Ryuichi**, Relation between hydrogen emission and seismic activities, 175-184.

**Satake Hiroshi, Masahiko Ohashi and Yoshimitsu Hayashi**, Discharge of H<sub>2</sub> from the Atotsugawa and Ushikubi Faults, Japan, and its relation to earthquakes, 185-193.

**Kawabe Iwao**, Anomalous changes of CH<sub>4</sub>/Ar ratio in subsurface gas bubbles as seismogeochemical precursors at Matsuyama, Japan, 194-214.

**Chengmin Wang**, Ground-water studies for earthquake prediction in China 215-217.

**Guiru Li, Jiang Fongliang, Wang Jihua and Zhang Peiren**, Preliminary results of seismogeochemical research in China, 218-230.

**Liu K. K., T. -F. Yui, Y. -H. Yeh, Y. -B. Tsai and T. -L. Teng**, Variations of radon content in groundwaters and possible correlation with seismic activities in northern Taiwan, 231-244.

**Merifield P. M. and D. L. Lamar**, Possible strain events reflected in water levels in wells along San Jacinto fault zone, southern California, 245-254.

**Healy John H. and T. C. Urban**, In-situ fluid-pressure measurements for earthquake prediction: An example from a deep well at Hi Vista, California, 255-279.

**Whitehead R. L., R. W. Harper and H. G. Sisco**, Hydrologic changes associated with the October 28, 1983, Idaho earthquake, 280-293.

**Chung Y.**, Radon variations at arrowhead and murrieta springs: Continuous and discrete measurements, 294-308.

**Shapiro M. H., A. Rice, M. H. Mendenhall, J. D. Melvin and T. A. Tombrello**, Recognition of environmentally caused variations in radon time series, 309-32.

**Wollenberg H. A., A. R. Smith, D. F. Mosier, S. Flexser and M. Clark**, Radon-222 in groundwater of the Long Valley caldera, California, 327-339.

**King Chi-Yu**, Impulsive radon emanation on a creeping segment of the San Andreas fault, California, 340-352.

**Steele S. R.**, Anomalous radon emanation at local and regional distances preceding earthquakes in the New Madrid seismic zone and adjacent areas of the central mid-continent of North America, 1981–84, 353-368.

**Reimer G. M.**, Prediction of central California earthquakes from soil-gas helium fluctuations, 369-375.

**Sato Motoaki, A. J. Sutton and K. A. McGee**, Anomalous hydrogen emissions from the San Andreas fault observed at the Cienega Winery, central California, 376-391.

**Roecken Christian and Max Wyss**, The detection and interpretation of hydrogen in fault gases, Randolph H. Ware, 392-402.

**Roecken Christian and Max Wyss**, Hydrologic and geochemical properties of the San Andreas fault at the Stone Canyon well, Donald J. Stierman and Alan E. Williams, 403-424.

**Stierman Donald J. and John H. Healy**, A study of the depth of weathering and its relationship to the mechanical properties of near-surface rocks in the Mojave Desert, 425-439.

**O'Neil James R.**, Water-rock interactions in fault gouge 440-446.

**Dunning J. D. and M. E. Miller**, Effects of pore fluid chemistry on stable sliding of Berea sandstone 447-462.

**Varshal G. M., G. A. Sobolev, V. L. Barsukov, A. V. Koltsov, B. I. Kostin, T. F. Kudinova, Yu. I. Stakheyev and S. P. Tretyakova**, Separation of volatile components from rocks under mechanical loading as the source of hydrogeochemical anomalies preceding earthquakes 463-477.

**Shi X. J. and C. Y. Wang**, Instability on a weakening fault, 478-491.

**Gold Thomas and Steven Soter**, Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes 492-530.

**Friedmann H.**, A theoretical model for change of shape of spring-water radon anomalies with epicentral distance 531-544.

**Li Victor C.**, Estimation of in-situ hydraulic diffusivity of rock masses 545-559

**Roeloffs E. and J. W. Rudnicki**, Coupled deformation-diffusion effects on water-level changes due to propagating creep events 560-582

**Mase Charles W. and Leslie Smith**, Pore-fluid pressures and frictional heating on a fault surface 583-607

**Noorishad J. and P. A. Witherspoon**, Can injection tests reveal the potential for fault movements? 608-618.

## **2.6. NUMEROS SPECIAUX DE « PURE AND APPLIED GEOPHYSICS », 2010**

*Pure and Applied Geophysics (Special issues on earthquake prediction studies, 2010), 167(6/7) and 167 (8/9) including :*

Vol I.:

**Rhoades D. A., Savage M. K., Smith E. G. C., Gerstenberger M. C., Vere-Jones D.** – Introduction

**Rhoades D. A.** – Lessons and Questions from Thirty Years of Testing the Precursory Swarm Hypothesis

**Vere-Jones D.** – Foundations of Statistical Seismology

**Shanker D., Singh H. N., Paudyal H., Kumar A., Panthi A., Singh V. P.** – Searching for an Earthquake Precursor: A Case Study of Precursory Swarm as a Real Seismic Pattern before Major Shocks

**Singh H. N., Paudyal H., Shanker D., Panthi A., Kumar A., Singh V. P.** – Anomalous Seismicity and Earthquake Forecast in Western Nepal Himalaya and its Adjoining Indian Region

**Kagan Y. Y., Jackson D. D.** – Short- and Long-term Earthquake Forecasts for California and Nevada

**Console R., Murru M., Falcone G.** – Retrospective Forecasting of  $M \geq 4.0$  Earthquakes in New Zealand

**Kagan Y. Y., Jackson D. D.** – Earthquake forecasting in diverse tectonic zones of the globe

**Kagan Y. Y., Bird P., Jackson D. D.** – Earthquake Patterns in Diverse Tectonic Zones of the Globe

**Shcherbakov R., Turcotte D. L., Rundle J. B., Tiampo K. F., Holliday J. R.** – Forecasting the Locations of Future Large Earthquakes: An Analysis and Verification

**Changsheng J., Zhongliang W.** – PI forecast for the Sichuan-Yunnan Region: Retrospective Test after the May 12, 2008, Wechuan Earthquake

**Tiampo K. F., Klein W., Hsien-Chi Li, Mignan A., Toya Y., Kohen-Kadosh S. Z. L., Rundle J. B., Chen C.-C.** – Ergodicity and earthquake catalogs: Forecast testing and resulting implications

**Yizhe Zhao, Zhongliang Wu, Changsheng Jiang, Chuanzhen Zhu** – Reverse Tracing of Precursors (RTP) Applied to the Annual Earthquake Forecast: Retrospective Test for the Annual Consultation in Sichuan-Yunnan Region of Southwest China

**Bebbington M. S., Harte D. S., Jaume S. C.** – Repeated intermittent earthquake cycles in the San Francisco Bay region

**Console R., Jackson D. D., Kagan Y. Y.** – Using the ETAS model for catalog declustering and seismic background assessment

**Imoto M., Rhoades D. A.** – Seismicity models of moderate earthquakes in Kanto, Japan, utilizing multiple predictive parameters

**Zoeller G., Hainzl S., Holschneider M.** – Recurrence of large earthquakes: Bayesian inference from catalogs in the presence of magnitude uncertainties

Vol. II:

**Savage M. K., Smith E. G. C., Gerstenberger M. C., Vere-Jones D.** – Introduction

**Schorlemmer D., Zechar J. D., Werner M. J., Field E. H., Jackson D. D., Jordan T. H., the RELM Working Group – First Results of the Regional Earthquake Likelihood Models Experiment**

**Gerstenberger M. C., Rhoades D. A. – New Zealand Earthquake Forecast Testing Centre**

**Zechar J. D., Jordan T. H. – The area skill score statistic for evaluating earthquake predictability experiments**

**Molchan G. – Space-time earthquake prediction: The error diagrams**

**Orfanogiannaki K., Karlis D., Papadopoulos G. A. – Identifying seismicity levels via Poisson hidden Markov models**

**Gentili S. – Distribution of seismicity before the larger earthquakes in Italy in the time interval 1994-2004**

**Wyss M. – Predicting the Human Losses Implied by Predictions of Earthquakes: Southern Sumatra and Central Chile**

**Van Aalsburg J., Rundle J. B., Grant L. B., Rundle P. B., Yakovlev G., Turcotte D. L., Donnellan A., Tiampo K. F., Fernandez J. – Space- and Time-Dependent Probabilities for Earthquake Fault Systems from Numerical Simulations: Feasibility Study and First Results**

**Hauksson E. – Spatial Separation of Large Earthquakes, Aftershocks, and Background Seismicity: Analysis of Interseismic and Coseismic Seismicity Patterns in Southern California**

**Bhattacharya P. M., Kayal J. R., Baruah S., Arefiev S. S. – Earthquake source zones in northeast India: Seismic tomography, fractal dimension and b-value mapping**

**Paradisopoulou P. M., Papadimitriou E. E., Karakostas V. G., Taymaz T., Kilias A., Yolsal S. – Seismic hazard evaluation in western Turkey as revealed by stress transfer and time-dependent probability calculations**

**Rhoades D. A., Papadimitriou E. E., Karakostas V. G., Console R., Murru M. – Correlation of static stress changes and earthquake occurrence in the North Aegean Region**

**Smith D. E., Dieterich J. H. – Aftershock sequences modeled with 3D stress heterogeneity and rate-state seismicity equations: Implications for crustal stress estimation**

**Dieterich J. H., Richards-Dinger K. B. – Earthquake recurrence in simulated fault systems**

**Itaba S., Koizumi N., Matsumoto N., Ohtani R.** – Continuous observation of groundwater and crustal deformation for forecasting Tonankai and Nankai earthquakes in Japan

**Ogata Y.** – Anomalies of seismic activity and transient crustal deformations preceding the 2005 M 7.0 earthquake west of Fukuoka

### 3. Bibliographie par pays et envoyée par les chercheurs

#### 3.1. BIBLIOGRAPHIE GRECQUE

##### SELECTIONS DE PUBLICATIONS (PAR VAROTSOS)

Liste complète: <http://physlab.phys.uoa.gr/org/director.htm>

**P. Varotsos, and M. Lazaridou**, (1991) Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, *Tectonophysics*, Vol. 188, 321-347. [Tecto91.pdf](#)

**P. Varotsos, K. Alexopoulos, and M. Lazaridou**, (1993) Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, II, *Tectonophysics*, Vol. 224, 1-37. [Tecto93.pdf](#)

**P. Varotsos, N. Sarlis, M. Lazaridou, and P. Kapiris**, (1998). Transmission of stress induced electric signals, *Journal of Applied Physics*, Vol.83, 60-70. [D13.pdf](#)

**P. Varotsos, N. Sarlis, and M. Lazaridou**, (1999), Interconnection of defect parameters and stress-induced electric signals in ionic crystals, *Physical Review B*, Vol.59 24-27. [D19.pdf](#)

**N. Sarlis, M. Lazaridou, P. Kapiris, and P. Varotsos**, (1999), Numerical model for the explanation of the selectivity effect and the  $\Delta V/L$  criterion, *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, 3245-3248. [D25.pdf](#)

**P. Varotsos, N. Sarlis, and E. Skordas**, (2001), A note on the spatial extent of the Volos SES sensitive area, *Acta Geophysica Polonica*, Vol. 49 425-435. [D32.pdf](#)

**P.Varotsos, N.Sarlis, and E. Skordas**, (2001), Spatio-temporal complexity aspects on the interrelation between seismic electric signals and seismicity, *Practica of Athens Academy*, Vol. 76 294-321. [P3.pdf](#)

**P. Varotsos, N. Sarlis, and E. Skordas**, (2002), Seismic Electric Signals and Seismicity: on a tentative interrelation between their spectral content, *Acta Geophysica Polonica*, Vol. 50 337-354. [D35.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2002), Long range correlations in the signals that precede rupture, *Physical Review E*, Vol. 66 011902(7). [D37.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2003), Long range correlations in the signals that precede rupture: Further investigations, *Physical Review E*, Vol. 67 021109(13). [D38.pdf](#) [D38-S.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2003), Attempt to distinguish electric signals of a dichotomous nature, *Physical Review E*, Vol. 68 031106(7). [D39.pdf](#) [D39-S.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2003), Electric Fields that «Arrive» before the Time Derivative of the Magnetic Field prior to Major Earthquakes, *Physical Review Letters*, Vol. 91 (2003), 148501(4). [D40.pdf](#) [D40-S.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, and M.S. Lazaridou**, (2004), Entropy in the natural time domain, *Physical Review E*, Vol. 70 (2004), 011106(10). [D45.pdf](#)

**H. Tanaka, P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2004), A plausible universal behaviour of earthquakes in the natural time-domain, *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, Vol. 80 283-289. [D47.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas and H. Tanaka**, (2004), A plausible explanation of the b-value in the Gutenberg-Richter law from first Principles, *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, Vol. 80 429-434. [D48.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, and M.S. Lazaridou**, (2005), Natural entropy fluctuations discriminate similar-looking electric signals emitted from systems of different dynamics, *Physical Review E*, Vol. 71 011110(11). [D49.pdf](#) [D49-S.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, H.K. Tanaka and E.S. Skordas**, (2005), Some properties of the entropy in the natural time, *Physical Review E*, Vol. 71 032102(4). [D50.pdf](#) [D50-S.pdf](#)

**S.Abe, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, H.K Tanaka and P.A. Varotsos**, (2005), Origin of the Usefulness of the Natural-Time Representation of Complex Time Series, *Physical Review Letters*, Vol. 94 170601(4). [D51.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2005), Time-difference between the electric field components of signals prior to major earthquakes, *Applied Physics Letters*, Vol. 86 194101(3). [D52.pdf](#) [D52-S.pdf](#)

**I.I. Rokityanyk, P.Varotsos, and N. Sarlis**, (2005), Comment on ‘Electrical conductivity and crustal structure beneath the central Hellenides around the Gulf of Corinth (Greece) and their relationship with the seismotectonics’ by Pham *et al.*, *Geophysics Journal International*, Vol. 162 332-336. [D54.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, H.K. Tanaka, and E.S. Skordas**, (2005), Similarity of fluctuations in correlated systems: The case of seismicity, *Physical Review E*, Vol. 72 041103(8). [D55.pdf](#) [D55-S.pdf](#)

**P.A. Varotsos**, (2006) Is time continuous?, arXiv:cond-mat/06055456v1. [0605456v1.pdf](#)

**P.A. Varotsos**, (2006), What happened before the last five strong earthquakes in Greece, *Proc. Jpn. Acad. Ser. B*, 82, 86-91. [JAC82\\_2006.pdf](#)

**P.A. Varotsos**, (2006), Recent Seismic Electric Signals (SES) activities in Greece, *Acta Geophysica (Springer-Verlag)* 54, No 2, 158-164. [Acta2006.pdf](#)

**P. Varotsos, N. Sarlis, E. Skordas, and M. Lazaridou** (2006), Additional evidence on some relationship between Seismic Electric Signals (SES) and earthquake focal mechanism, *Tectonophysics*, Vol. 412 279-288. [D56.pdf](#)

**N.V. Sarlis, P.A. Varotsos, and E.S. Skordas**, (2006) Flux avalanches in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  films and rice piles: Natural time domain analysis, *Physical Review B*, Vol. 73, 054504(7). [D57.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, H.K. Tanaka, and M.S. Lazaridou**, (2006) Entropy of seismic electric signals: Analysis in the natural time under time reversal, *Physical Review E*, Vol. 73, 031114(8). [D58.pdf](#) [D58-S1.pdf](#) [D58-S2.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, H.K. Tanaka, and M.S. Lazaridou**, (2006) Attempt to distinguish long-range temporal correlations from the statistics of the increments by natural time analysis, *Physical Review E*, Vol. 74 021123(12). [D60.pdf](#) [D60-S1.pdf](#) [D60-S2.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, and M.S. Lazaridou**, (2007), Electric pulses some minutes before earthquake occurrences, *Applied Physics Letters*, Vol. 90 064104(3). [D62.pdf](#) [D62-S.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, and M.S. Lazaridou** (2007), Identifying sudden cardiac death risk and specifying its occurrence time by analyzing electrocardiograms in natural time, *Applied Physics Letters*, Vol. 91, 064106(3). [D63.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, E.S. Skordas, and M.S. Lazaridou**, (2008) Fluctuations, under time reversal, of the natural time and the entropy distinguish similar looking electric signals of different dynamics, *Journal of Applied Physics*, Vol. 103, 014906(12). [D64.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2007) Seismic Electric Signals and 1/f "noise" in natural time, cond-mat/arXiv:0711.3766v1,. [0711.3766v1.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas** (2008) Seismic Electric Signals and 1/f "noise" in natural time, cond-mat/arXiv:0711.3766v3,. [0711.3766v3.pdf](#)

**N.V. Sarlis, E.S. Skordas, M.S. Lazaridou, and P.A. Varotsos**, (2008) Investigation of the seismicity after the initiation of a Seismic Electric Signal activity until the main shock, cond-mat/arXiv:0802.3329v4, [0802.3329v4.pdf](#)

**N.V. Sarlis, E.S. Skordas, M.S. Lazaridou, and P.A. Varotsos**, (2008), Investigation of the seismicity after the initiation of a Seismic Electric Signal activity until the main shock, *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, Vol. 84 331-343. [D65.pdf](#)

**P.A. Varotsos, N.V. Sarlis, and E.S. Skordas**, (2009) Detrended fluctuation analysis of the magnetic and electric field variations that precede rupture, *CHAOS* 19, 023114(8), [chaos2009.pdf](#)

**N.V. Sarlis, E.S. Skordas and P.A. Varotsos**, (2009). Heart rate variability in natural time and 1/f «noise», *EuroPhysics Letters EPL*, 87, 18003, [d67.pdf](#)

**N.V. Sarlis, E.S. Skordas, and P.A. Varotsos** (2009) Multiplicative cascades and seismicity in natural time, *Physical Review E* 80, 022102, (2009). [d68.pdf](#) and Supplementary information for the Brief Report [d68-s.pdf](#)

### 3.2. BIBLIOGRAPHIE JAPONAISE

**Johnston, M. J. S.** (1977) – A review of tilt, magnetic and strain measurements and implications for earthquake prediction on the San Andreas fault, *Proceeding of USA-Japanese workshop on earthquake prediction*

**Kanamori H.** (1972) – Relation between tectonic stress, great earthquakes and earthquake swarms, *Tectonophysics*, 14, 1-12

**Mogi K.** (1973) – Relationship between shallow and deep seismicity in the western Pacific region, *Tectonophysics*, 17, 1-22

**Moriya T., Yamamoto I., Takada M., et al.** (2007) – Observation of abnormal propagation and azimuth of VHF waves, *2007 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan*

**Muto K.** (1932) – A study of displacements of triangulation points, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 10, 384-391

**Nasubara M., Ohtsuki K., Yamauchi T.** (2007) – Monitoring of groundwater fluctuation for forecasting large earthquakes off-Miyagi Prefecture, *2007 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan*

**Ostrovsky A. E.** (1972) – On change in tilts of the earth's surface before strong near earthquakes, *in Physical Bases of Seeking Methods of Prediction Earthquakes*, Accad, SC. USSR, Moscow, 152pp

**Ostrovsky A. E.** (1973) – Tilts and earthquakes, *in Earthquake Precursors*, Acad. Sci. USSR, Moscow, 216pp.

**Rikitake T.** (1975) – Earthquake precursors, *BSSA*, 65, 1133-1162

**Rikitake T.** (1976) – Earthquake Prediction, *Elsevier Amsterdam*, 357pp

**Rikitake T.** (1991) – Prediction de Tremblements de Terre, *Physique des Tremblements de Terre, Chap 4, edited by H. Kanamori, Iwanami shoten editor*, pp279

**Suyehiro S.** (1966) – Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960, *BSSA*, 56, 185-200

**Suyehiro S., Sekiya H.** (1972) – Foreshocks and earthquake prediction, *Tectonophysics*, 14, 219-225

**Takahashi K.** (2007) – Process of generating electromagnetic fields just before great earthquakes, *2007 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan*

**Tsuboi C.** (1933) – Investigation on the deformation of earth's crust found by precise geodetic means, *Jap. J. Astron. Geophys.* 10, 93-248

**Tsukuda T.** (2007) – Recent water temperature rise at an artisan well and crustal activity changes in Kinki District at the Niigata-Kobe Tectonic Zone, *2007 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan*

**Tsutsui M., Yamada Y., Inoue J., et al.** (2007) – Source depth of Earth-origin Electromagnetic pulses – EM pulse data detected at two observation sites and seismic data, *2007 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan*

**Utsu T.** (2nd ed. 1984) – Prédiction de Tremblements de Terre, *Sismologie, Chap 12, Kyoritsu Shuppan publisher*, pp 310

**Yamazaki Y.** (1975) – Precursory and coseismic resistivity changes, *Pageoph*, 113, 219-229

### 3.3. BIBLIOGRAPHIE RUSSE

**Кособоков В. Г.** (2005) – Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы. *Прогноз землетрясений и геодинамические процессы Вычислительная сейсмология, Выпуск 36, часть I*, М.: ГЕОС, 175 с.

**Kossobokov V. G.** (2005) – Prévision des séismes : bases, réalisation, perspective. *Prévision des séismes et processus géodynamiques. Sismologie calculatoire*, édition 36, partie I, М.: GEOS, 175 p.

### **3.3.1. A. Soloviev**

**Keilis-Borok V. I.** (1990) – The lithosphere of the Earth as a non-linear system with implications for earthquake prediction. *Review of Geophysics*, 28 (1), 19-34.

**Keilis-Borok V. I.** (1990) – Introduction: Non-linear systems in the problem of earthquake prediction. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), 1-7.

**Keilis-Borok V. I., Knopoff L., Kossobokov V., Rotwain I. M.** (1990) – Intermediate-term prediction in advance of the Loma Prieta earthquake. *Geophys. Res. Letters*, 17 (9), 1461-1464.

**Keilis-Borok V. I., Kossobokov V. G.** (1990) – Premonitory activation of earthquake flow: algorithm M8. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), 73-83.

**Keilis-Borok V. I., Kossobokov V. G.** (1990) – Times of increased probability of strong earthquakes ( $M \geq 7.5$ ) diagnosed by algorithm M8 in Japan and adjacent territories. *J. Geophys. Res.*, 95 (B8), 12413-12422.

**Keilis-Borok V. I., Kuznetsov I. V., Panza G. F., Rotwain I. M., Costa G.** (1990) – On intermediate-term earthquake prediction in Central Italy. *PAGEOPH*, 134 (1), 79-92.

**Keilis-Borok V. I., Rotwain I. M.** (1990) – Diagnosis of Time of Increased Probability of strong earthquakes in different regions of the world: algorithm CN. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), 57-72.

**Kossobokov V. G., Keilis-Borok V. I., Smith S. W.** (1990) – Reduction of territorial uncertainty of earthquake forecasting. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), R1-R4.

**Kossobokov V. G., Keilis-Borok V. I., Smith S. W.** (1990) – Localization of intermediate-term earthquake prediction. *J. Geophys. Res.*, 95, 19763-19772.

**Latoussakis, J., Kossobokov V. G.** (1990) – Intermediate term earthquake prediction in the area of Greece: Application of the algorithm M8. *PAGEOPH*, 134 (2), 261-282.

**Molchan G. M.** (1990) – Strategies in strong earthquake prediction. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), 84-98.

**Molchan G. M., Dmitrieva O. E., Rotwain I. M., Dewey J.** (1990) – Statistical analysis of the results of earthquake prediction, based on bursts of aftershocks. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), 128-139.

**Schreider S. Yu.** (1990) – Formal definition of premonitory seismic quiescence. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 61 (1-2), 113-128.

**Molchan G.** (1991) – Structure of optimal strategies in earthquake prediction. *Tectonophysics*, 193: 267-276.

**Arieh E., Rotwain I., Steinberg J., Vorobieva I., Abramovici F.** (1992) – Diagnosis of time of increased probability of strong earthquakes in the Jordan-Dead Sea rift zone. *Tectonophysics*, 202 (2-4), 351-359.

**Molchan G., Kagan Y.** (1992) – Earthquake prediction and its optimization. *J. Geophys. Res.*, 97 (B4), 4823-4838.

**Vorobieva I. A., Panza G. F.** (1993) – Prediction of the occurrence of related strong earthquakes in Italy. *PAGEOPH*, 141(1), 25-41.

**Bhatia S. C., Chalam S. V., Gaur V. K., Subedi L., Vorobyeva I. A., Levshina T. A.** (1994) – Diagnosing time periods of increased probability of large earthquake occurrence in the Himalayan seismic belt using the CN algorithm. In D.K.Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics*, 1, Am. Geophys. Un., Washington, D.C., 25-30.

**Gabrielov A., Newman W. I.** (1994) – Seismicity modeling and earthquake prediction: A review. In Newman W. I., Gabrielov A., Turcotte D. L. (eds), *Nonlinear Dynamics and Predictability of Geophysical Phenomena* / Am. Geophys. Un., Int. Un. of Geodesy and Geophys., 7-13 (Geophysical Monograph 83, IUGG Vol. 18).

**Girardin N., Rotwain I.** (1994) – Diagnosis of the time of increaseb probability of earthquakes of magnitude 5.5 or greater in the Lesser Antillean arc. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 83, 57-65.

**Keilis-Borok V. I.** (1994) – Symptoms of instability in a system of earthquake-prone faults. *Physica D*, 77, 193-199.

**Keilis-Borok V. I., Rotwain I. M.** (1994) – Diagnosis of times of increased probability (TIPs) for strong earthquakes in Northern Appalachians. In D.K.Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 1, Washington, D.C.: The Union, 1-5.

**Kosobokov V. G., Mazhkenov S. A.** (1994) – Times of increased probability of large earthquakes in the Eastern Tien Shan diagnosed by the M8 algorithm. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 1, Washington, D. C.: The Union, 16-19.

**Molchan G. M.** (1994) – Models for optimization of earthquake prediction. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 2, Washington, D. C.: The Union, 1-10.

**Narkunskaya G. S., Shnirman M. G.** (1994) – On an algorithm of earthquake prediction. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 1, Washington, D. C.: The Union, 20-24.

**Prozorov A. G.** (1994) – An earthquake prediction algorithm for the Pamir and Tien Shan region based on a combination of long-range aftershocks and quiescent periods.

In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 1, Washington, D. C.: The Union, 31-35.

**Vorobieva I. A., Levshina T. A.** (1994) – Prediction of a second large earthquake based on aftershock sequence. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 2, Washington, D. C.: The Union, 27-36.

**Costa G., Staniskova I., Rotwain I., Panza G. F.** (1996) – Regionalization and stability of CN algorithm: the case of Italy. *PAGEOPH*, 147 (1), 119-130.

**Keilis-Borok V. I.** (1996) – Intermediate-term earthquake prediction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, 3748-3755.

**Keilis-Borok V. I.** (1996) – Non-seismological fields in earthquake prediction research. In Sir James Lighthill (ed.), *A Critical Review of VAN*, Singapore-New Jersey-London-Hong Kong: World Scientific, 357-372.

**Knopoff L., Levshina T., Keilis-Borok V. I., Mattoni C.** (1996) – Increased long-range intermediate-magnitude earthquake activity prior to strong earthquakes in California. *J. Geophys. Res.*, 101 (B3), 5779-5796.

**Novikova O., Vorobieva I., Enescu D., Radulian M., Kuznetsov I., Panza G. F.** (1996) – Prediction of strong earthquakes in Vrancea, Romania, using the CN algorithm. *PAGEOPH*, 147, 99-118.

**Shebalin P., Girardin N., Rotwain I., Keilis-Borok V., Dubois J.** (1996) – Local overturn of active and non-active seismic zones as a precursor of large earthquakes in Lesser Antillean Arc. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 97, 163-175.

**Kossobokov V. G., Healy J. H., Dewey J. W.** (1997) – Testing an earthquake prediction algorithm. *Pure and Appl. Geophys.*, 149, 219-232.

**Molchan G. M.** (1997) – Earthquake Prediction as a Decision-making Problem. *Pure and Appl. Geophys.*, 149, 233-247.

**Rotwain I., Keilis-Borok V., Botvina L.** (1997) – Premonitory transformation of steel fracturing and seismicity. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 101, 61-71.

**Romachkova L. L., Kossobokov V. G., Panza G. F., Costa G.** (1998) – Intermediate-term prediction of earthquakes in Italy: Algorithm M8. *Pure and Appl. Geophys.*, 152, 37-55.

**Keilis-Borok V.** (1999) – What comes next in the dynamics of lithosphere and earthquake prediction? *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 111 (3-4), 179-185.

**Keilis-Borok V., Shebalin P., Gabrieliov A., and D. Turcotte** (2004) Reverse detection of short-trem earthquake precursors. *Phys. Earth and Plan. Int.*, 145 (1-4), 75-85. doi: 10.1016/j.pepi.2004.02.010 <http://arxiv.org/abs/physics/0312088>.

**Kossobokov V. G., Romashkova L. L., Keilis-Borok V. I., Healy J. H.** (1999) – Testing earthquake prediction algorithms: Statistically significant real-time prediction of the largest earthquakes in the Circum-Pacific, 1992-1997. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 111 (3-4), 187-196.

**Kossobokov V. G., Maeda K., Uyeda S.** (1999) – Precursory activation of seismicity in advance of Kobe, 1995,  $M = 7.2$  earthquake. *Pure and Appl. Geophys.*, 155, 409-423.

**Kossobokov V. G., Shebalin P. N., Healy J. H., Dewy J. W., Tikhonov I. N.** (1999) – A real-time intermediate-term prediction of the October 4, 1994, and December 3, 1995, southern Kuril Islands earthquakes. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 4, Washington, D. C.: The Union, 57-63.

**Romashkova L. L., Kossobokov V. G.** (1999) – The concentration of ruptures in an intermediate-term earthquake prediction algorithm. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 4, Washington, D. C.: The Union, 64-70.

**Rotwain I., Novikova O.** (1999) – Performance of the earthquake prediction algorithm CN in 22 regions of the world. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 111 (3-4), 207-213.

**Rozhkova V. V.** (1999) – Identification of periods of increased earthquake occurrence probability for the Pamirs and Tien Shan using the CN algorithm and a geodynamic model of the region. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 4, Washington, D. C.: The Union, 94-100.

**Shebalin P. N., Keilis-Borok V. I.** (1999) – Phenomenon of local "seismic reversal" before strong earthquakes. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 111 (3-4), 215-227.

**Shebalin P. N., Rotwain I. M., Keilis-Borok V. I., Girardin N., Dubois J.** (1999) – Local redistribution of active zones as the precursor of large earthquakes in Lesser Antillean Arc. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 4, Washington, D. C.: The Union, 71-81.

**Vorobieva I. A.** (1999) – Prediction of a subsequent large earthquake. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 111 (3-4), 197-206.

**Vorobieva I. A., Novikova O. V., Kuznetsov I. V., Enescu D., Radulian M., Panza G.** (1999) – Intermediate-term earthquake prediction for the Vrancea region: Analysis of new data. In D. K. Chowdhury (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics* / Am. Geophys. Un., 4, Washington, D. C.: The Union, 82-93.

**Gabrielov A., Zaliapin I., Newman W. I., Keilis-Borok V. I.** (2000) – Colliding cascades model for earthquake prediction. *Geophys. J. Int.*, 143 (2), 427-437.

**Kossobokov V. G., Keilis-Borok V. I., Turcotte D. L., Malamud B. D.** (2000) – Implications of a statistical physics approach for earthquake hazard assessment and forecasting. *Pure and Appl. Geophys.*, 157 (11-12), 2323-2349.

**Shebalin P., Zaliapin I., Keilis-Borok V.** (2000) – Premonitory raise of the earthquakes' correlation range: Lesser Antilles. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 122 (3-4), 241-249.

**Keilis-Borok V. I., Ismail-Zadeh A. T., Kossobokov V. G., Shebalin P. N.** (2001) – Non-linear dynamics of the lithosphere and intermediate-term earthquake prediction, *Tectonophysics*, 338, 247-260.

**Keilis-Borok V. I.** (2002) – Earthquake prediction: State-of-the-art and emerging possibilities. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, 30, 1-33.

**Keilis-Borok V., P. Shebalin, I. Zaliapin** (2002) – Premonitory patterns of seismicity months before a large earthquake: Five case histories in Southern California. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99, 16562-16567.

**Kossobokov V. G., Romashkova L. L., Panza G. F., Peresan A.** (2002) – Stabilizing intermediate-term medium-range earthquake predictions. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 4 (2-3), 11-19.

**Peresan A., Rotwain I., Zaliapin I., Panza G. F.** (2002) – Stability of intermediate-term earthquake predictions with respect to random errors in magnitude: the case of Central Italy, *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 130, 117-127.

**Zaliapin I., Keilis-Borok V., Axen G.** (2002) – Premonitory spreading of seismicity over the faults' network in southern California: Precursor Accord, *J. Geophys. Res.*, 107, B10: ESE5-1 – ESE5-15, 2221, doi:10.1029/2000JB000034.

**Keilis-Borok V. I.** (2003) – Fundamentals of Earthquake Prediction: Four Paradigms. In Keilis-Borok V. I. and A.Soloviev A. (eds), (2003) – *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1-36.

**Keilis-Borok V. I.** (2003) – Basic science for prediction and reduction of geological disasters. In T.Beer and A.Ismail-Zadeh (eds), *Risk Science and Sustainability*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 29-38 (NATO Science Series. II. Mathematics, Physics and Chemistry – Vol. 112).

**Keilis-Borok V. I.** (2003) – Prediction of critical transitions in complex systems: colliding cascades model and real disasters. In A.Correig (ed.) *Terratrèmols i temporals de llevant: dos exemples de sistemes complexos*. Jornades Científiques de l'Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències i Tecnologia, Barcelona, 175-194 (Sèrie jornades científiques; 15).

**Keilis-Borok V., Shebalin P., Gabrielov A., Turcotte D.** (2003) – Reverse Detection of Short-Term Earthquake Precursors. <http://arxiv.org/abs/physics/0312088> (PDF 17 pp., 5 f.).

**Kossobokov V. G.** (2003) – The physics of earthquakes, seismic occurrence and its prediction. In A.Correig (ed.) *Terratrèmols i temporals de llevant: dos exemples de sistemes complexos*. Jornades Científiques de l’Institut d’Estudis Catalans, Secció de Ciències i Tecnologia, Barcelona, 71-90 (Sèrie jornades científiques; 15).

**Kossobokov, V., Shebalin P.** (2003) – Earthquake Prediction. In Keilis-Borok V. I. A.Soloviev A. (eds), *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 141-207.

**Panza G. F., Peresan A., Vaccari F., Romashkova L., Kossobokov V., Gorshkov A., Kuznetsov I.** (2003) – Earthquake preparedness: the contribution of earthquake prediction and deterministic hazard research. In A.Correig (ed.) *Terratrèmols i temporals de llevant: dos exemples de sistemes complexos*. Jornades Científiques de l’Institut d’Estudis Catalans, Secció de Ciències i Tecnologia, Barcelona, 91-116 (Sèrie jornades científiques; 15).

**Shebalin P., Keilis-Borok V., Zaliapin I., Uyeda S., Nagao T., Tsybin N.** (2003) – Short-Term Advance Prediction of the Large Hokkaido Earthquake, September 25, 2003, magnitude 8.1: A Case History. <http://www.geocities.co.jp/Technopolis/4025/030925eq.pdf>

**Jin,A., Aki K., Liu Z., Keilis-Borok V.** (2004) – Seismological evidence for the brittle-ductile interaction hypothesis on earthquake loading. *Earth Planets Space*, 56, 823-830.

**Keilis-Borok V., Shebalin P., Gabrielov A., Turcotte D.** (2004) – Reverse tracing of short-term earthquake precursors. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 145 (1-4), 75-85.

**Kossobokov V. G.** (2004) – Earthquake prediction: Basics, Achievements, Perspectives. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 2004, 39 (2-3), 205-221.

**Shebalin P., Keilis-Borok V., Zaliapin I., Uyeda S., Nagao T., Tsybin N.** (2004) – Advance short-term prediction of the large Tokachi-oki earthquake, September 25, 2003, M = 8.1. A case history. *Earth, Planets and Space*, 56 (8), 715-724.

**Peresan A., Kossobokov V., Romashkova L., Panza G. F.** (2005) – Intermediate-term middle-range earthquake predictions in Italy: a review. *Earth-Science Reviews*, 2005, 69 (1-2), 97-132.

**Zaliapin I., Jin A., Lui Z., Aki K., Keilis-Borok V.** (2005) – Temporal (un)correlations between coda Q<sup>-1</sup> and seismicity – Multiscale Trend Analysis. *Pure and Appl. Geophys.*, 162, 827-841.

**Kossobokov V. G.** (2006) – Quantitative earthquake prediction on global and regional scales. In A.Ismail-Zadeh (ed.), *Recent Geodynamics, Georisk and Sustainable Development in the Black Sea to Caspian Sea Region*. AIP, Melville, New York, 32-50 (AIP Conference Proceedings, Vol. 825).

**Kossobokov V. G.** (2006) – Testing earthquake prediction methods: “The West Pacific short-term forecast of earthquakes with magnitude  $MwHRV \geq 5.8$ ”. *Tectonophysics*, 413, 25-31.

**Rotwain I., De Natale G., Kuznetsov I., Peresan A., Panza G. F.** (2006) – Diagnosis of time of increased probability (TIP) for volcanic earthquakes at Mt.Vesuvius. *Pure and Appl. Geophys.*, 163 (1), 19-39.

**Keilis-Borok V., Liu Z., Turcotte D., Zaliapin I., Zöller G.** (2008) – On increase of earthquake correlation length prior to large earthquakes in California. In A.Ismail-Zade (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics. Volume 8*. Am. Geophys. Un., Washington, D. C., 1-11.

**Molchan G., Keilis-Borok V.** (2008) – Earthquake prediction: probabilistic aspect. *Geophys. J. Int.*, 173 (3), 1012–1017.

**Novikova O. V., Shebalin P. N., Keilis-Borok V. I.** (2008) – Successive updating of intermediate-term earthquake prediction: Two case histories from southeastern Mediterranean. In A.Ismail-Zade (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics. Volume 8*. Am. Geophys. Un., Washington, D. C., 22-32.

**Romashkova L. L., Kossobokov V. G.** (2008) – Spatially stable application of algorithm M8: Italy and California. In A.Ismail-Zade (ed.), *Computational Seismology and Geodynamics. Volume 8*. Am. Geophys. Un., Washington, D. C., 12-21.

**Keilis-Borok V., Gabrielov A., Soloviev A.** (2009) – Geo-complexity and earthquake prediction. In: Meyers R. (ed.) *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Springer, New York, 2009.

### **3.3.2. A. D. Zavialov, Institut de Physique de la Terre de Moscou**

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1980) – О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов. // *Докл. АН СССР*, т.252, № 1, с.69-71

**Федотов С. А., Шумилина Л. С., Славина Л. Б., Завьялов А. Д. и др.** (1980) – Усовершенствование методов прогноза на Камчатском полигоне. // *ИФЗ АН СССР, отчет*, 130с.

**Sobolev G. A., Zavialov A. D.** (1980) – Some regularities of seismic regime and earthquakes prediction. // *Proc. of the 17-th Assemblay of the ESC. Budapest*, 65-69

**Усманова М. Т., Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1981) – Современный сейсмический режим восточного Узбекистана. // *Узб. геол. журнал*, № 6, с.13-17

**Kuznetsova K.I., Shumilina L.S., Zavialov A. D.** (1981) – The physical sense of the magnitude-frequency relation. // *Proc. of the 2-nd intern. symposium on the analysis of seismicity and on seismic hazard*, pp.27-46

**Sobolev G. A., Zavialov A. D.** (1981) – A concentration criterion for seismically active faults. // In "Earthquakes prediction - an international review", Maurice Ewing Series 4, New-York, pp.377-380

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1982) – Некоторые закономерности сейсмического режима и прогноз землетрясений. // Сб. "Физика очага и предвестники землетрясений", с.228-242. (Рукопись деп. в ВИНИТИ 4 янв. 1982г.).

**Кузнецова К.И., Шумилина Л. С., Завьялов А. Д.** (1982) – "Графики повторяемости" трещин и сейсмичность в областях очагов некоторых крупнейших землетрясений Камчатки. // Сб. "Физика очага и предвестники землетрясений", с.200-218. (Рукопись деп. в ВИНИТИ 4 янв. 1982г.).

**Shumilina L. S., Kuznetsova K. I., Zavialov A. D.** (1982) – The magnitudefrequency relation as an evidence of tectonic stress with reference to the Kamchatka seismic area. // J. Earthquakes prediction research, v.1, № 3, pp.265-273.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1984) – Локализация сейсмичности перед Усть-Камчатским землетрясением 15 декабря 1971г. // Изв. АН СССР, Физика Земли, № 4, с.17-24.

**Завьялов А. Д.** (1984) – Наклон графика повторяемости как предвестник сильных землетрясений на Камчатке. // Сб. "Прогноз землетрясений", Душанбе-Москва, изд. "Дониш", № 5, с.173-184.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1984) – Процесс формирования сдвигового разрыва и режим землетрясений. // Сб. "Прогноз землетрясений", Душанбе-Москва, Изд. "Дониш", 1984, № 5, с.160-172.

**Лыков В. И., Соболев Г. А., Городкова Т. Н., Славина Л. Б., Завьялов А. Д., Тагизаде Т. Т.** (1984) – Методика выявления развивающегося землетрясения по комплексу сейсмологических параметров. // Сб. "Прогноз землетрясений", Душанбе-Москва, изд. "Дониш", 1984, № 5, с.127-138.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1984) – О прогнозе землетрясения в Авачинском заливе. // Сб. оперативной информации. Прогноз землетрясений. Сейсмология. Сейсмостойкое строительство. МССС при Президиуме АН СССР, 1984, вып.4, с.3-9.

**Соболев Г. А., Федотов С. А., Шамина О.Г., Лыков В. И., Завьялов А. Д. и др.** (1985) – Отчет о научно-исследовательской работе за 1981-1985гг. "Физические основы динамики сесмоактивных зон" (заключительный). // ИФЗ АН СССР, Москва, 70с.

**Завьялов А. Д.** (1986) – Параметр концентрации сейсмогенных разрывов как предвестник сильных землетрясений Камчатки. // Вулканология и сейсмология. 1986, № 3, с.58-71.

**Горельчик В. И., Завьялов А. Д.** (1986) – Поведение параметра плотности сейсмогенных разрывов при подготовке и развитии Большого трещинного Толбачикского извержения. // *Вулканология и сейсмология*, 1986, № 6, с.60-67.

**Zavialov A. D., Sobolev G. A.** (1988) – Anology in precursors of dynamic events at different scales. // *Tectonophysics*, 1988, 152, pp.277-282.

**Лыков В. И., Соболев Г. А., Славина Л. Б., Завьялов А. Д., Тагизаде Т. Т.** (1988) – Методика долгосрочного прогноза землетрясений с использованием комплекса параметров сейсмического режима. // Сб.: *Современное состояние сейсмологических исследований в Европе*. М.: Наука, 1988, с.149-157.

**Соболев Г. А., Васильев В. Ю., Ратушный В. В., Завьялов А. Д.** (1989) – Изучение закономерностей группирования землетрясений. // Сб.: *Обработка изображений геофизической среды*. М.: Наука, 1989, с.15-22.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D., Slavina L. B., Gotsadze O. D.** (1989) – A method of map compilation for expected earthquakes on a complex of seismological precursors. // *International association of seismology and physics of the Earth's interior (IASPEI). Activity reports 1986-1988 and Proceedings of the XXI General Assembly of European seismological comission (ESC), Sofia, Bulgaria, August 23-27, 1988. National Palace of Culture, Sofia*, 1989, pp.473-477.

**Sobolev G. A., Vasiliev V. Yu., Ratushny V. V., Zavyalov A. D.** (1989) – The model for separation of earthquake groups and its application to long-term prediction. // *International association of seismology and physics of the Earth's interior (IASPEI). Activity reports and Proceedings of the XXI General Assembly of European seismological comission (ESC), Sofia, Bulgaria, August 23-27, 1988. National Palace of Culture, Sofia*, pp.478-485.

**Соболев Г. А., Челидзе Т. Л., Гоцадзе О. Д., Славина Л. Б., Завьялов А. Д., Пилишвили Т. В., Николадзе И. Е., Антонов Е. П., Рогожин Е. А., Никонов А. А., Тагизаде Т. Т., Хелашвили Р. А.** (1989) – Поиски долгосрочных предвестников землетрясения на Кавказе. // В сб.: *Прогноз землетрясений. Душанбе-Москва*, изд-во "Дониш", № 12, с.315-332.

**Соболев Г. А., Челидзе Т. Л., Завьялов А. Д., Славина Л. Б., Николадзе В. Е.** (1990) – Карты ожидаемых землетрясений основанные на комплексе сейсмологических признаков. // *Изв. АН СССР, Физика Земли*, № 11, стр.45-56.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D., Slavina L. B.** (1990) – Map of expected earthquakes for the Caucasus and its dynamics. // *The 22-th General Assembly of European Seismological Comission (ESC). Barcelona, Spain, 17-22 September 1990. Proceedings and activity report 1988-1990*, v.2, pp.787-793.

**Соболев Г. А., Федотов С. А., Пономарев А. В., Завьялов А. Д. и др.** (1990) – Отчет о научно-исследовательской работе "Физические процессы в очагах землетрясений" (заключительный). // *ИФЗ АН СССР, Москва*, 67с.

**Соболев Г. А., Челидзе Т. Л., Завьялов А. Д., Славина Л. Б.** (1991) – Карта ожидаемых землетрясений Кавказа и ее динамика. // Сб.: Модельные и натурные исследования очагов землетрясений. М.: Наука, с.106-116.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D., Slavina L. B., Nikoladze V. E.** (1991) – The maps of expected earthquakes based on a combination of parameters. // *Tectonophysics*, 193, pp.255-265.

**Zavyalov A. D., Sobolev G. A.** (1991) – Experience in using maps of expected earthquakes for medium-term prediction at various seismoactive regions. // International Conference on "Earthquake Prediction: State-of-the-art", Scientific-Technical Contributions. Strasbourg, France, 15-18 October 1991, pp.175-178.

**Zavyalov A. D., Sobolev G. A.** (1992) – Physical basis and experience of using complex of parameters for the estimation of strong earthquakes appearance danger. // XXIII General Assembly of the ESC, Activity Report 1990-1992 and Proceeding, vol.2. Prague, Czechoslovakia, 7-12, September 1992, p.324-328.

**Завьялов А. Д., Орлов В. С.** (1993) – Карта ожидаемых землетрясений Туркмении и сопредельных территорий. // Изв. АН Туркменистана, сер. физико-математических, технических, химических и геологических наук, № 1, с.56-61.

**Zavyalov A. D., Zhang Zhaocheng** (1993) – Using the MEE (Map of Expected Earthquakes) Algorithm in Long- and Medium-Term Earthquake Prediction in Northeast China. // *Journal of Earthquake Prediction Research*, Beijing. Vol.2, № 2, p.171-182.

**Завьялов А. Д.** (1993) – Карта ожидаемых землетрясений Кавказа на период 1991-1995гг. // В сб. "Построение моделей развития сейсмического процесса и предвестников землетрясений", ГНТП России "Глобальные изменения природной среды и климата". М., вып.1, с.118-120.

**Завьялов А. Д.**, (1993) – Левина В. И. Первый вариант карты ожидаемых землетрясений Камчатки. // В сб. "Построение моделей развития сейсмического процесса и предвестников землетрясений", ГНТП России "Глобальные изменения природной среды и климата". М., вып.1, с.177-182.

**Завьялов А. Д., Пономарев А. В.** (1993) – Геофизический мониторинг процесса подготовки землетрясений. // В сб. "Инженерно-геологический и геофизический мониторинг природных объектов и инженерных сооружений", ГНТП России "Безопасность населения и народно-хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф". М., с.5-21.

**Zavyalov A. D.** (1994) – Application of MEE (Map of Expected Earthquakes) prognosis algorithm in Greece. // In: *Proceedings and Activity Report 1992-1994, European Seismological Comission*, 24-th General Assembly, 1994 September 19-24, Athens, Greece, v.II, pp.1039-1049.

**Smirnov V., Zavyalov A., Ponomarev A.** (1994) – Fractal properties of seismicity in Greece. // In: *Proceedings and Activity Report 1992-1994, European Seismological*

*Comission, 24-th General Assembly, 1994 September 19-24, Athens, Greece*, v.III, pp.1249-1257.

**Chelidze T. L., Sobolev G. A., Kolesnikov Yu. M., Zavyalov A. D.** (1995) – Seismic hazard and earthquake prediction research in Georgia. // *Journal of Georgian geophysical society. Issue A. Physics of solid Earth. GCI Publishing House, Tbilisi*. Vol.1, pp.7-39.

**Смирнов В. Б., Пономарев А. В., Завьялов А. Д.** (1995) – Структура акустического режима в образцах горных пород и сейсмический процесс. // *Физика Земли*. № 1, с.38-58.

**Смирнов В. Б., Пономарев А. В., Завьялов А. Д.** (1995) – Особенности формирования и эволюции структуры акустического режима в образцах горных пород. // *ДАН*. 1995, том 343, № 6, с.818-823.

**Завьялов А. Д., Славина Л. Б., Васильев В. Ю., Мячким В. В.** (1995) – Методика расчета карт ожидаемых землетрясений по комплексу прогностических признаков. // М.: ОИФЗ РАН, с.1-40.

**Smirnov V. B., Zavyalov A. D.** (1996) – Scaling of the concentration criterion of fracturing. // In: *Seismology in Europe. Papers presented at the XXV General Assemblay ESC. Reykjavik (Iceland). September 9-14*, pp.276-281.

**Соболев Г. А., Тюпкин Ю. С., Смирнов В. Б., Завьялов А. Д.** (1996) – Способ среднесрочного прогноза землетрясений. // *Доклады РАН*. т.347, № 3, с.405-407.

**Пономарев А. В., Завьялов А. Д.** (1996) – Моделирование структуры сейсмичности. // В сб.: *Основные достижения Объединенного института физики Земли им. О.Ю.Шмидта за 1992-1996гг*. М.: ОИФЗ РАН. т.1, с.138-143.

**Завьялов А. Д.** (1996) – Карты ожидаемых землетрясений. // В сб.: *Основные достижения Объединенного института физики Земли им. О.Ю.Шмидта за 1992-1996гг*. М.: ОИФЗ РАН. 1996, т.1, с.161-163.

**Смирнов В. Б., Завьялов А. Д.** (1996) – Концентрационный критерий разрушения с учетом фрактального распределения разрывов. // *Вулканология и сейсмология*. № 4, с.75-80.

**Завьялов А. Д., Никитин Ю. В.** (1997) – Параметр концентрации трещин при подготовке разрушения на разных масштабных уровнях. // *Вулканология и сейсмология*. № 1, с.65-79.

**Zavyalov A. D., Nikitin Yu. V.** (1997) – Concentration of ruptures as a criterion of failure preparation at different scales. // *Volcanology and Seismology*. v.19, pp.79-96.

**Соболев Г. А., Аптикаев Ф. Ф., Гитис В. Г., Завьялов А. Д., Кособоков В. Г., Кофф Г. Л., Пономарев А. В., Славина Л. Б., Уломов В. И., Фролова Н. И., Хубуная С. А., Шумилина Л. С., Шебалин П. Н.** (1997) – Разработка методики и

алгоритмов комплексной обработки геофизической информации для решения задач среднесрочного и краткосрочного прогноза землетрясений и вулканических извержений, построения карт сейсмического районирования и сейсмического риска для сейсмоопасных регионов России. // ОИФЗ РАН. Отчет по 1-ому этапу НИР. Москва, 163с.

**Ponomarev A. V., Zavyalov A. D., Smirnov V. B., Lockner D. A.** (1997) – Physical modeling of the formation and evolution of seismically active fault zones. // *Tectonophysics*. vol.277, № 1-3, pp.57-82.

**Zavyalov A. D.**, Habermann R.E. (1997) – Application of the concentration parameter of seismoactive faults to Southern California. // *Pure and Applied Geophys.* vol.149, pp.129-146.

**Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S., Zavyalov A. D.** (1999) – Map of expected algorithm and RTL prognostic parameter: joint application. // *Russian Journal of Earth Sciences*. Vol 1, N 4, July 1999, pp.301-309. [http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rjes\\_r00.htm](http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rjes_r00.htm)

**Завьялов А. Д., Никитин Ю. В.** (1999) – Процесс локализации сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки. // *Вулканология и сейсмология*. № 4-5, с.83-89.

**Zavyalov A. D., Nikitin Yu. V.** (2000) – Seismicity localization before large Kamchatka earthquakes // *Volcanology and Seismology*. v.21, pp.525-534.

**Zavyalov A. D.** (2000) – Experience of middle term earthquake prediction with MEE algorithm. // *27<sup>th</sup> Gen.Assembly of the European Seismological Comission, Book of abstracts and papers. Lisbon University, Lisbon, Portugal, 10-15 September 2000*, p.90 (abstract), pp.307-311 (paper).

**Соболев Г. А., Аносов Г. И., Аптикаев Ф. Ф., Арефьев С. С., Бесстрашнов В. М., Будников В. А., Годзиковская А. А., Завьялов А. Д., Иванов В. В., Иогансон Л. И., Козырев А. А., Лабазина Е. Ю., Левин Б. В., Маловичко А. А., Николаев А. В., Пелиновский Е. Н., Рейснер Г. И., Рогожин Е. А., Соловьева О. Н., Старовойт О. Е., Уломов В. И., Федотов С. А., Хубуная С. А., Шебалин Н. В., Шолпо В. Н., Шумилина Л. С.** (2000) – Сейсмические опасности (отв. ред. Соболев Г. А.). // В кн.: *Природные опасности России в 6-ти томах*. М.: КРУК. 2000, т.2, 296 с.

**Завьялов А. Д., Смирнов В. Б.** (2001) – Учет фрактальности в расчетах концентрационного критерия разрушения. // *Геофизика и математика. Материалы Второй Всероссийской конференции, Пермь, 10-14 декабря 2001 г.* / Под ред. акад. В. Н.Страхова. Пермь: ГИ УрО РАН. с.103-110.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д., Смирнов В. Б. и др.** (2002) – Разработка методического и программного обеспечения прогноза опасных состояний и сейсморайонирования массива по данным о сейсмичности. // *Отчет по хоздоговору № 26145. М.: ИФЗ РАН.* 53 с.

**Завьялов А. Д.** (2002) – Анализ результатов тестирования прогностического алгоритма КОЗ с 1985 по 2000гг. в различных сейсмоактивных районах. // *Физика Земли*. № 4, с.16-30.

**Zavyalov A. D.** (2002) – Testing the MEE prediction algorithm in various seismically active regions in the 1985-2000 period: results and analysis. // *Izvestiya. Physics of the solid Earth*. vol.38, № 4, pp.262-275.

**Завьялов А. Д.** (2003) – Карта Ожидаемых Землетрясений Греции в 1996-2002гг.: прогноз и реализация. // *Физика Земли*. № 1, с.3-8.

**Zavyalov A. D.** (2003) – Map of Expected Earthquakes in Greece for the 1996-2002 Period: Prediction and Realization. // *Izvestiya, Physics of the solid Earth*. vol.39, № 1, pp.1-6.

**Завьялов А. Д.,** (2002) – Смирнов В. Б. и др. Сейсмичность при горных работах (под ред. акад. Н.Н.Мельникова). Раздел 3.3. Сейсмические предвестники мощных динамических явлений. // *Алатыры. Изд-во КНЦ РАН*. 326с.

**Завьялов А. Д.** (2003) – Ретроспективный тест алгоритма КОЗ для Западной Турции. // *Физика Земли*. № 11, с.29-41.

**Zavyalov A. D.** (2003) – Retrospective Testing of the MEE Algorithm for Western Turkey. // *Izvestiya, Physics of the solid Earth*. 2003, vol.39, № 11, pp.898-910. Translated from *Fizika Zemli*, No.11, pp.29-41.

**Завьялов А. Д.** (2004) – Результаты и перспективы использования алгоритма КОЗ для среднесрочного прогноза землетрясений. // *Исследования в области геофизики: к 75-летию Объединенного института физики Земли им.О.Ю.Шмидта*. М.: ОИФЗ РАН. с.20-29.

**Zavyalov A. D.** (2005) – Medium-term prediction of earthquakes from a set of criteria: Principles, methods, and implementation. // *Russian Journal of Earth Sciences*. vol.7, #1, pp.51-73. <http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v07/tje04159/tje04159.htm#ref144>

**Завьялов А. Д.** (2005) – От кинетической теории прочности и концентрационного критерия разрушения к плотности сейсмогенных разрывов и прогнозу землетрясений. // *Физика твердого тела*. т.47, вып.6, с.40-48.

**Zavyalov A. D.** (2005) – From the Kinetic Theory of Strength and Fracture Concentration Criterion to the Seismogenic Fracture Density and Earthquake Forecasting // *Physics of the Solid State*. 2005, vol. 47, # 6, pp.1034–1041. Translated from *Fizika Tverdogo Tela*, vol. 47, # 6, pp.1000–1008.

**Завьялов А. Д.** (2005) – Землетрясение у берегов Суматры. // *Природа*. № 5, с.29-35.

**Завьялов А. Д.** (2006) – Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. // М.: Наука. 254 с.

**Завьялов А. Д.** (2006) – Временной фактор в сейсмическом районировании. // В міжвідомчий науково-технічний збірнику «Будівельні конструкції». Київ, НДІБК, 2006, випуск 64 «Будівництво в сеймічних районах України», с.377-383. (В межведомственном научно-техническом сборнике «Строительные конструкции». Киев, НИИ строительных конструкций, выпуск 64 «Строительство в сейсмических районах Украины», с.377-383).

**Zavyalov A. D.** (ed.) (2007) – National Report to the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior of the International Union of Geodesy and Geophysics 2003-2006. // Moscow, National Geophysical Committee RAS, 2007, <http://ngc.gcras.ru/documents.html>.

**Завьялов А. Д.** (отв. ред.) (2007) – Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003–2006. //Москва, Национальный Геофизический Комитет РАН, 2007, <http://ngc.gcras.ru/documents.html>.

**Sobolev G. A., Zavyalov A. D.** (2007) – Earthquake physics and precursors. // *National Report to the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior of the International Union of Geodesy and Geophysics 2003-2006. Moscow, National Geophysical Committee RAS,* pp.59-70, <http://ngc.gcras.ru/documents.html>.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (2007) – Физика землетрясений и предвестники. // *Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003–2006. Москва, Национальный Геофизический Комитет РАН,* с.62-73, <http://ngc.gcras.ru/documents.html>

**Соболев Г. А., Апрова Б., Смирнов В. Б., Завьялов А. Д., Пономарев А. В., Кумар Н., Чабак С.К., Байдия П. Р.** (2009) – Прогностические аномалии сейсмического режима. II. Западные Гималаи // *Геофизические исследования.* т.10, № 2, с.23-36.

### Papiers de conférences

**Завьялов А. Д., Соболев Г. А.** (1984) – Параметр концентрации сейсмогенных разрывов и наклон графика повторяется как предвестники сильных землетрясений Камчатки. // Сб. "Прогноз сейсмической опасности на Дальнем Востоке". Тезисы докладов на 4-ой научной сессии Дальневосточной секции МCCCC. Южно-Сахалинск, с.73-74.

**Zavialov A. D., Sobolev G. A.** (1986) – Analogy of dynamic effects predictors on different scales. // *Terra Cognita*, v.6, № 3, p.426.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D., Slavina L. B., Pilishvili T. V.** (1987) – Method of map constructing of expected earthquakes using the seismological feature complex. // *Intern. Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), XIX General Assembly, Vancouver, Canada, August 9-22. Abstracts*, v.1, p.270.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D., Slavina L. B., Nikoladze V.E.** (1989) – The maps of expected earthquakes based on a combination of parameters. // *The 25-th General Assembly of International Association of seismology and physics of the Earth's interior (IASPEI). Istanbul, Turkey, August 21 - September 1, 1989. Abstracts*, p.689.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D., Slavina L. B.** (1990) – Map of expected earthquakes for the Caucasus and its dynamics. // *The 22-th General Assembly of European Seismological Comission (ESC). Barcelona, Spain, 17-22 September 1990. Programme and abstracts*, p.197.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д., Славина Л. Б., Челидзе Т. Л.** (1990) – Карта ожидаемых землетрясений Кавказа и ее динамика. // *Тезисы докладов советско-китайского симпозиума по прогнозу землетрясений. Гарм, 7-15 октября 1990г.*, с.22-23.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1991) – Подход к динамической карте сейсмической опасности // *20-я Генеральная Ассамблея Международного Союза по Геодезии и Геофизике (IUGG/МГГС)*. Австрия, Вена.

**Chelidze T., Sobolev G., Kolesnikov Yu., Zavyalov A.** (1994) – Generalized portrait (GP) technique of pattern recognition in steady-state and time-dependent seismic hazard assessment for Caucasus. // In: *Abstracts of Intern. Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, 27-th General Assembly, Wellington, New Zealand, S2.1.*

**Sobolev G. A., Zavyalov A. D.** (1994) – Maps of expected earthquakes based on a complex of predictors: possibilities and results. // In: *Abstracts of Intern. Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, 27-th General Assembly, Wellington, New Zealand, S6.30.*

**Zavyalov A. D.** (1994) – Precursors of strong Southern California earthquakes on April 23 ( $M=6.1$ ) and June 28 ( $M=7.5$ ,  $M=6.4$ ). // In: *Abstracts of Intern. Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, 27-th General Assembly, Wellington, New Zealand, S6.56.*

**Ponomarev A. V., Zavyalov A. D., Lockner D. A., Smirnov V. B., Stanchits S. A.** (1995) – The physical modelling of formation and evolution of seismoactive fault zone. // In: *XXI General Assembly of IUGG. Abstracts. Boulder, Colorado, USA. p.A357.*

**Smirnov V. B., Ponomarev A. V., Zavyalov A. D.** (1995) – Relation between the parameters of selfsimilarity of the seismic process. // In: *XXI General Assembly of IUGG. Abstracts. Boulder, Colorado, USA. p.B407.*

**Smirnov V. B., Ponomarev A. V., Zavyalov A. D.** (1996) – The interrelation of the self-similarity of seismicity in space and energy. // In: *XXV General Assemblay ESC. Abstracts. Reykjavik (Iceland). September 9-14, 1996, A1.14, p.6.*

**Zavyalov A. D., Smirnov V. B.** (1996) – Scaling of the concentration criterion of fracturing. // *First Congress of the Balkan Geophysical Society. Book of Abstracts. Athens (Greece). September 23-27, 1996*, pp.48-49.

**Zavyalov A. D., Nikitin Yu. V.** (1998) – Cracks concentration behavior at preparation of Kamchatka earthquakes. // In: *XXVI General Assemblay ESC. Abstracts. Tel Aviv (Israel). August 23-28, 1998*, E1.16, p.40.

**Zavyalov A. D., Nikitin Yu. V.** (1998) – Process of seismicity localization before strong Kamchatka earthquakes. // In: *XXVI General Assemblay ESC. Abstracts. Tel Aviv (Israel). August 23-28, 1998*, E2.05, p.43.

**Завьялов А. Д., Никитин Ю. В.** (1998) – Поведение параметра концентрации трещин при подготовке землетрясений Камчатки. // *Научная конференция «Современная сейсмология: достижения и проблемы». Тезисы докладов. Москва, 7-9 октября 1998г.* С.36.

**Завьялов А. Д., Никитин Ю. В.** (1998) – Процесс локализации сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки. // *Научная конференция «Современная сейсмология: достижения и проблемы». Тезисы докладов. Москва, 7-9 октября 1998г.* С.46-47.

**Ponomarev A. V., Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S., Zavyalov A. D.** (1999) – Physics of the seismic source and earthquakes prediction. // In: *XXII General Assembly of IUGG99. Birmingham. July 1999. Abstracts, Week A, ST1/W/07-A3*, p.A149.

**Zavyalov A. D.** (1999) – Medium term forecast on November 18, 1997, M=6.7 earthquake in Greece. // In: *XXII General Assembly of IUGG99. Birmingham. July 1999. Abstracts, Week A, ST1/W/65-A3*, p.A148.

**Zavyalov A. D., Nikitin Yu. V.** (1999) – Localization of seismicity before strong Kamchatka earthquakes. // In: *XXII General Assembly of IUGG99. Birmingham. July 1999. Abstracts, Week A, ST1/W/02-A4*, p.A156.

**Завьялов А. Д., Смирнов В. Б.** (1999) – Учет фрактальности в расчетах концентрационного критерия разрушения. // В сб.: *Международная конференция «Проблемы безопасности и совершенствования горных работ (XVIII Мельниковские чтения)» (Mining&Safety). Тезисы докладов Международной конференции, Москва-Санкт-Петербург, 11-17 сентября 1999г. Пермь*, с.64-65.

**Zavyalov A. D.** (2000) – Experience of middle term earthquake prediction with MEE algorithm. // *27<sup>th</sup> Gen. Assembly of the European Seismological Comission, Book of abstracts and papers. Lisbon University, Lisbon, Portugal, 10-15 September 2000*, p.90 (abstract).

**Zavyalov A. D.** (2000) – Prognostic algorithms and precursors for strong earthquake prediction (overview). // *27<sup>th</sup> Gen. Assembly of the European Seismological Comission, Book of abstracts and papers. Lisbon University, Lisbon, Portugal, 10-15 September 2000*, p.89 (abstract).

**Zavyalov A. D.** (2001) – Fifteen years test of MEE algorithm for middle term earthquakes prediction. // *IAGA-IASPEI joint scientific Assembly, 19-31 August 2001 Hanoi, Vietnam. Abstracts*. Pp.308-309.

**Завьялов А. Д.** (2001) – Результаты пятнадцатилетнего тестирования алгоритма КОЗ для среднесрочного прогноза землетрясений. // *Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. Тезисы докладов 1-ой Международной школы-семинара (9-15 сентября 2001г.). Сибирская Аэрокосмическая Академия им.М.Ф.Решетнева*. с.111-112.

**Zavyalov A. D.** (2002) – Map of Expected Earthquakes of Greece in 1996-2002: the prognosis and realization. // *European Seismological Commission (ESC) 28<sup>th</sup> General Assembly. Book of Abstracts. Univ. of Genoa, Italy. 2002*, pp.242-243.

**Zavyalov A. D.** (2002) – The retrospective test of algorithm MEE for Western Turkey. // *European Seismological Commission (ESC) 28<sup>th</sup> General Assembly. Book of Abstracts. Univ. of Genoa, Italy*. p.245.

**Завьялов А. Д.** (2005) – Применение алгоритма КОЗ (Карта Ожидаемых Землетрясений) для Курильского сейсмоактивного региона // *Международный научный симпозиум: Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС-2005). Россия, г.Южно-Сахалинск, 5-8 июня 2005 г. Тезисы докладов*. С.147 (рус.). **Zavyalov A. D.** Application Map of Expected algorithm (MEE) for Kuril seismoactive region // *Intern. Sci. Symp.: Topical Problems of island and coastal seismology (ICS-2005). Russia, Yuzhno-Sakhalinsk, 5-8 June. Abstracts*. P.146 (eng.).

**Завьялов А. Д.** (2005) – От кинетической теории прочности и концентрационного критерия разрушения к плотности сейсмогенных разрывов и прогнозу землетрясений. // *Тезисы докладов 7-ой международной школы-семинара «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. Пос.Борок, Ярославская обл. (Россия), 17-21 октября 2005 г.* С.28.

**Zavyalov A. D.** (2005) – Application map of expected earthquakes algorithm (MEE) for Kuril seismoactive region // *IASPEI, General Assembly, 2-8 October, 2005, Chili, CD-ROM with abstracts*.

**Zavyalov A. D.** (2005) – Test of MEE prognostic algorithm precursors for rock bursts prediction // *IASPEI, General Assembly, 2-8 October, 2005, Chili, CD-ROM with abstracts*.

**Zavyalov A. D.** (2007) – Where will be a future strong earthquake on Kamchatka? // *XXIV General Assembly of IUGG, Perugia, Italy, July 2-13, 2007*.

**Sobolev G., Arora B., Smirnov V., Ponomarev A., Zavyalov A., Chabak S., Kumar N.** (2007) – Anomalies of seismic regime of western Himalaya. // *XXIV General Assembly of IUGG, Perugia, Italy, July 2-13*.

**Завьялов А. Д.** (2007) – Карта ожидаемых землетрясений для Курильской островной дуги - результаты ретроспективного тестирования. // Сборник материалов международной научной конференции «Уроки и следствия сильных землетрясений (к 80-летию разрушительных землетрясений в Крыму)». Украина, Ялта-2007, сентябрь 25-28 с.139.

**Завьялов А. Д.** (2007) – Основные результаты и перспективы использования алгоритма КОЗ для среднесрочного прогноза землетрясений. // Материалы международной конференции «50-летие Международного Геофизического года и Электронный Геофизический год». Россия, Сузdal, 16-19 сентября 2007 г., с.52. **Zavyalov A. D.** The basic results and prospects of MEE algorithm for the medium-term forecast of earthquakes. // Materials of the International Conference “50th Anniversary of the International Geophysical Year and Electronic Geophysical Year”. Russia, Suzdal, 16-19 September, 2007, p.28.

**Zavyalov A. D., Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Smirnov V. B., Lyubushin A. A.** (2008) – Researches of institute of physics of the Earth on source physics and earthquakes forecast. // Eivison Symposium on Seismogenesis and Earthquake Forecastingt. Abstract volume. 18-22 February 2008, Wellington, New Zealand, p.58.

**Zavyalov A. D.** (2008) – Map of Expected Earthquakes of Greece 2003-2009: successes and failures. // 31st General Assembly of European Seismological Commission. Oral & Poster Abstracts. Hersonissos, Crete island, Greece, 7-12 September, p.188.

**Zavyalov A. D.** (2008) – Map of Expected Earthquakes Before Strong Simushir Earthquakes (2006.11.15, M8.3 and 2007.01.13, M8.2) // 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and Seismological Society of Japan, 2008 Fall meeting. Abstracts. Tsukuba, Japan, 24-27 November, 2008.

**Рогожин Е. А., Иогансон Л. И., Юнга С. Л., Завьялов А. Д., Лукашова Р. Н.** (2008) – Комплексное диагностирование предвестников сильных землетрясений в активных геодинамических зонах Северной Евразии // Итоговая конференция по результатам выполнения мероприятий ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» за 2008 г. по приоритетному направлению «Рациональное природопользование». Тезисы докладов. С.-Петербург. с.112-113.

**Zavyalov A. D.** (2009) – Map of Expected Earthquakes Before Strong Simushir Earthquakes (2006.11.15, M8.3 and 2007.01.13, M8.2). // IASPEI, General Assembly, 10-16 January, 2009, Cape Town, South Africa.

**Zavyalov A. D., Qian Jiadong** (2009) – Map of expected earthquakes for north-east china: ten years after // International Symposium on Earthquake Seismology and Earthquake Predictability. Abstracts. Beijing, China, July 5-9, 2009. Pp.64-65.

**Завьялов А. Д.** (2009) – Параметр плотности сейсмогенных разрывов в прогнозе природных и природно-техногенных катастроф // Международная научная

конференция «Современные методы оценки сейсмического риска в горных районах» – памяти Хаитского землетрясения 10 июля 1949 года». г.Душанбе, г.Гарм (Таджикистан), 10-15 июля 2009 г.

**Завьялов А. Д.** (2009) – Кинетическая теория прочности и концентрационный критерий разрушения в прогнозе природных и природно-техногенных катастроф // Всероссийское совещание «Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия», Иркутск, 17-22 августа 2009 г.

### 3.3.3. G. A. Sobolev

#### Monographies

**Соболев Г. А., Демин В. М.** (1980) – Механоэлектрические явления в Земле. М.: Наука. 215с.

**Соболев Г. А., Гохберг М. Б. и др.** (1982) – Электромагнитные предвестники землетрясений. М.: Наука. 1982.

**Соболев Г. А.** (1987) – Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях. М. 1987.

**Соболев Г. А., Кольцов А. В.** (1988) – Крупномасштабное моделирование подготовки и предвестников землетрясения. М.: Наука. 1988. 205 с.

**Соболев Г. А.** (1989) – Исследование деформационных и сейсмических предвестников разрушения на моделях. Геодезия, сейсмология, деформация и прогноз. М. 1989.

**Соболев Г. А.** (1991) – Модельные и натуральные исследования очагов землетрясений. М. 1991

**Соболев Г. А.** (1991) – Усманова М. Т. Разработка методики выявления развивающегося землетрясения по комплексу сейсмологических параметров Восточного Узбекистана. Ташкент. 1991.

**Соболев Г. А.** (1991) – Физика горных пород при высоких давлениях. М. 1991.

**Соболев Г. А.** (1992) – Физические и сейсмогеологические основы прогнозирования разрушения горных пород. М. 1992.

**Соболев Г. А.** (1993) – Основы прогноза землетрясений. М. Наука. 1993. 344 с.

**Соболев Г. А.** (1997) – Оценки сейсмической опасности и сейсмического риска . М.: ОИФЗ. 1997.

**Соболев Г. А.** (1997) – Физика очага землетрясения. На китайском языке: - Пекин: Изд. Госуд. Сейсмол. Бюро. 1997. 216 с. Библиограф.: с. 201-216.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (2003) – Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.

**Articles de journaux et de compilations**

**Воларович М. П., Пархоменко Э. И., Соболев Г. А.** (1959) – Исследование пьезоэлектрического эффекта кварцсодержащих горных пород в полевых условиях // ДАН СССР. 1959. Т.128. N 3. С.525-528.

**Соболев Г. А., Воларович М. П., Пархоменко Э. И.** (1962) – Пьезоэлектрический эффект кварцевых и пегматитовых жил // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1962. N 2. С.145-15

**Соболев Г. А.** (1962) – Диссертация на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук по закрытой тематике, защищенная 29.11.63. Фонды ИФЗ. 1963.

**Соболев Г. А.** (1963) – Работы по внедрению пьезоэлектрического метода на комбинате "Балейзолото" Фонды ИФЗ. Отчет отдела физ. свойства горных пород. 1963.

**Соболев Г. А.** (1964) – Некоторые расчеты полей для пьезоэлектрического метода разведки // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1964. N 3. С.378-384.

**Соболев Г. А., Воларович М. П.** (1965) – Использование пьезоэлектрического эффекта горных пород для подземной разведки тел – пьезоэлектриков // ДАН СССР. 1965.

**Соболев Г. А., Демин В. М.** (1966) – Способ аналитического расчета элементов залегания кварцевых тел при пьезоэлектрическом методе разведки // Изв. АН СССР. Физика Земли. N 4. С.64-70.

**Соболев Г. А., Воларович М. П.** (1966) – Станция ПЭЭФ-3 для поисков и разведки кварцевых жил в подземных горных выработках // Труды ИФЗ АН СССР. 1966. N 37.

**Соболев Г. А., Воларович М. П.** (1966) – Разработка пьезоэлектрического метода разведки кварцевых и пегматитовых жил в шахтах // Труды ИФЗ АН СССР. 1966. N 37.

**Соболев Г. А., Успенская А. Б., Пархоменко Э. И.** (1966) – Изучение пьезоэлектрического поля кварцевых тел на модели применительно к пьезоэлектрическому методу разведки // Труды ИФЗ АН. 1966. N 37.

**Соболев Г. А., Успенская А. Б., Пархоменко Э. И.** (1967) – Изучение пьезоэлектрического поля кварцевых тел на модели // Труды МИГРЕМ. 1967.

**Соболев Г. А.** (1968) – Опыт применения пьезоэлектрического метода разведки на Приполярном Урале // Труды ВНИМИСА. 1968.

- Соболев Г. А.** (1968) – Способы расчета динамиченских параметров пьезоэлектрического эффекта тел-пьезоэлектриков // *Труды ВНИСИМСА*. 1968.
- Соболев Г. А.** (1968) – Связь пьезоэлектрического поля с внутренним строением кварцсодержащих пород // *Вторая межвуз. конференция по физике горных пород. МГИ. 1968.*
- Соболев Г. А.** (1968) – Изучение пьезоэлектрических и других механико-электрических явлений в сейсмоактивном районе Камчатки // *Отчет отдела физ. свойств ИФЗ АН СССР. 1968.*
- Соболев Г. А.** (1968) – Изучение связи электрических и механических явлений в сейсмоактивных районах и на образцах пород в связи с проблемой прогноза землетрясений. *ИФЗ РАН. 1968.*
- Соболев Г. А., Томашевская И. С.** (1968) – Одновременное исследование механических и электрических явлений, сопровождающих процессы разрушения образцов горных пород при сложном напряженном состоянии // *Физика горных пород и процессов. МГИ. 1968. С. 14.*
- Соболев Г. А., Успенская А. Б.** (1969) – Пьезоэлектрическое поле кварцевого слоя // *Изв. АН СССР. Физика Земли. 1969. N 4.*
- Воларович М. П., Соболев Г. А.** (1969) – Пьезоэлектрический метод разведки кварцевых и пегматитовых жил. *М.: Наука. 1969. С. 132.*
- Соболев Г. А., Морозов В. Н.** (1969) – Изучение электрического поля на Камчатке и его связь с сейсмичностью // *ИФЗ АН СССР. Труды .1969.*
- Соболев Г. А.** (1969) – О механо-электрическом эффекте контактов // *Физика горных пород и процессов. МГМИ. 1969. С. 16.*
- Соболев Г. А.** (1969) – Усовершенствование аппаратуры и методики пьезоэлектрического метода разведки применительно к основным типам месторождений пьезоэлектрического кварца Южного Урала. *Отчет ИФЗ АН СССР. 1969.*
- Sobolev G. A., Volarovich M. P.** (1969) – Direct piezoelectric prospecting of quartz and pegmatic veins. *Geoexploration. V 7. N 4. P.241-246.*
- Соболев Г. А.** (1970) – Некоторые вопросы теории и интерпретации данных пьезоэлектрического метода разведки // *Состояние и задачи разведочной геофизики. М.: Наука. С.447-451.*
- Соболев Г. А., Морозов В. Н.** (1970) – Локальные возмущения электрического поля на Камчатке и их связь с землетрясениями // *Физические основы поисков метода прогноза землетрясений. М.: Наука. С.110-121*

**Соболев Г. А., Воларович М. П., Демин В. М., Кольцов А. А.** (1970) – Современное состояние и перспективы развития пьезоэлектрического метода разведки // *Состояние и задачи разведочной геофизики*. М.: Недра. С.423- 430.

**Sobolev G. A, Fedotov S. A. et al.** (1970) – Investigation of earthquake prediction in Kamchatka // *Tectonophysics*. 1970. V.9. N.2-3. P.249-258.

**Соболев Г. А., Морозов В. Н., Мигунов Н. И.** (1972) – Электротеллурическое поле и сильное землетрясение на Камчатке // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1972. N 2. С.73-80.

**Соболев Г. А., Мигунов Н. И.** (1972) – Обратная задача электрического диполя в горизонтально-слоистой среде для редкой сети наблюдений // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1972. N 8. С.100-105.

**Sobolev G. A., Myachkin V. I. et al.** (1972) – The study of variation in geophysical fields near focal zones of Kamchatka // *Tectonophysics*. 1972. V.14. N.3-4. P.287-294.

**Соболев Г. А.** (1973) – Перспективы оперативного прогноза землетрясений по электротеллурическим наблюдениям // *Предвестники землетрясений. ВИНИТИ*. 1973. С.172-185.

**Соболев Г. А., Мячкин В. И.** (1974) – Лабораторные и теоретические исследования процессов подготовки землетрясений // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1974. N 10. С.107-112.

**Соболев Г. А.** (1974) – Поиск предвестников землетрясений в электротеллурическом поле // *Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск*. 1974. С.141-151.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Мигунов Н. И.** (1974) – Исследование механо-электрических явлений и их использование в геофизике // *Геология и полезные ископаемые Сибири. Томск*. 1974.

**Соболев Г. А., Славина Л .Б.** (1974) – Магнитные эффекты, сопровождающие сильные землетрясения на Камчатке // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1974. N 2. С.380-382.

**Соболев Г. А., Славина Л. Б.** (1974) – Быстрые изменения электрических и сейсмических свойств среды в сейсмоактивном районе // *ДАН СССР*. 1974. Т.215. N 5. С.1101-1104.

**Соболев Г. А., Мячкин В. И. и др.** (1974) – Лабораторные и теоретические исследования процессов подготовки землетрясений // *Физика Земли*. 1974. N 10.

**Соболев Г. А., Шамина О. Г.** (1975) – Современное состояние лабораторных исследований процессов разрушения применительно к физике землетрясений // *Физика очага землетрясений*. М.: Наука. 1975. С.68-90.

**Соболев Г. А.** (1975) – Современное состояние лабораторных исследований по разрушению горных пород, применительно к физике очага землетрясений // *Физика очага землетрясений*. М.: Наука. 1975.

**Соболев Г. А., Богаевский В. Н. и др.** (1975) – Исследование механоэлектрических явлений в сейсмоактивных районах // *Физика очага землетрясений*. М.: Наука. 1975. С.184-223.

**Мячкин В.И., Костров Б. В., Соболев Г. А.** (1975) – Основы физики очага и предвестники землетрясений // *Физика очага землетрясений*. М.: Наука. 1975. С. 6-29.

**Соболев Г. А., Лементуева Р. А., Хромов А. А.** (1975) – О связи естественного электрического поля с сильными землетрясениями // *Сильные землетрясения Камчатки*. Владивосток. Изд. ДВЦ АН СССР. 1975. С.143-152.

**Соболев Г. А., Демин В. М, Курандин** (1975) – Пьезоэлектрические свойства галенит-сфалеритовых руд // *Физика Земли*. 1975. N 7. С.112-116.

**Соболев Г. А.** (1975) – Применение пьезоэлектрических явлений в геофизике. Диссертация на соискание уч. степени доктора физ.-мат. наук, защищенная 30.04.1975 г. // *Фонды ИФЗ АН СССР*. 1975. 9.0;

**Соболев Г. А., Шевцов Г. И., Мигунов Н. И., Козлов Э. В.** (1975) – Электризация полевых шпатов при деформации и разрушении // *ДАН*. 1975. Т.225. N 2. С.313-315.

**Myachkin V.I, Braser. F., Sobolev G. A. , Dieterich J.** (1975) – The models for earthquake fererunners // *PAGEOPH*. 1975. V.113. N.1-2. P.169-182.

**Sobolev G. A.** (1975) – The study of precursors of failure under Biaxial compression // *PAGEOPH*. 1975. V.113. N.1-2. P.45-50.

**Sobolev G. A.** (1975) – Application of electric method to the tentative short-term forecast of Kamchatka earthquake // *PAGEOPH*. 1975. V.113. N.1-2. P.229-236.

**Sobolev G. A, Spetzler H., Salov B. G.** (1975) – Precursors to failure in rocks while undergoing anelastic deformations // *J.Geoph. Res.* 1975. V.83. N.4.

**Соболев Г. А., Шамина О. Г. и др.** (1976) – Лабораторное изучение предвестников разрушения // *Поиски предвестников землетрясений*. Ташкент. ФАН. 1976. С.69-78.

**Соболев Г. А., Мячкин В.И и др.** (1976) – Физика очага и предвестники землетрясений // *Поиски предвестников землетрясений*. Ташкент. ФАН. 1976. С.121-131.

**Соболев Г. А., Федотов С. А. и др.** (1976) – Краткосрочный прогноз Камчатских землетрясений // *Поиски предвестников землетрясений. Ташкент. ФАН. 1976.* С.49-61.

**Соболев Г. А., Брейс В.Ф. и др.** (1976) – Две модели объяснения предвестников землетрясений // *Сб. Сов.-Амер. работ по прогнозу землетрясений. Душанбе. ДОНИШ. 1976. Т.І. Кн.2. С.9-21.*

**Соболев Г. А., Шпетцлер Х и др.** (1976) – К механизму деформации и разрушения органического стекла при двухосном сжатии // *Сб. Сов.-Амер. работ по прогнозу землетрясений. Душанбе. ДОНИШ. 1976. Т.І. Кн.2. С.34-43.*

**Соболев Г. А., Мигунов Н. И., Фролов А. Д.** (1976) – Письмо в редакцию по поводу усиления сейсмоэлектрического эффекта горных пород постоянным электрическим полем // *Физика Земли. 1976. N 10. С.110-111.*

**Sobolev G. A., Peselnic L et al.** (1976) – Variation of compressional velocities in simulated fault gouge under normal and direct shear stress // *Geoph.Res.Lett. 1976. V.3. N.7. P.369-372.*

**Соболев Г. А., Славина Л. Б.** (1977) – Изменения поля перед сильными землетрясениями Камчатки // *ДАН СССР. 1977. Т.233. N 1. С.81-84.*

**Соболев Г. А., Славина Л. Б.** (1977) – Пространственные и временные изменения  $Vp/Vs$  перед сильными землетрясениями Камчатки // *Физика Земли. 1977. N 7. С.91-98.*

**Sobolev G. A, Slavina L .B.** (1977) – The spatial and temporal changes in  $Vp/Vs$  before strong earthquakes in Kamchatka // *PAGEOPH. 1977. V.115. N.4. P.1047-1060.*

**Sobolev G. A, Fedotov S. A.** (1977) – Long and short-term earthquake prediction in Kamchatka // *Tectonophysics. 1977. V.37.*

**Соболев Г. А.** (1978) – Предвестники землетрясений // *Земля и Вселенная. 1978. N 6.*

**Sobolev G. A, Spetzler H., Salov B.** (1978) – Precursors of failure in rocks while undergoing anelastic deformations // *J.Geophys.Res. 1978. Vol.83. P.1775-1784.*

**Садовский М. А., Соболев Г. А., Мигунов Н. И.** (1979) – Изменения естественного излучения

радиоволн при сильном землетрясении в Карпатах // *ДАН СССР. 1979. N 2. С.316-319.*

**Соболев Г. А., Шпетцлер Х., Салов Б. Г.** (1979) – Предвестники разрушения породы, подвергнутой большим деформациям // *Сб. Сов.-Амер. Работ по прогнозу землетрясений. Душанбе. ДОНИШ. 1979. Т.ІІ. Кн.2. С.15-37.*

- Соболев Г. А.** (1979) – Международный симпозиум "ЮНЕСКО" по предсказанию землетрясений. 2-6 апреля 1979 г. Париж // *Изв.АН СССР*. 1979. N 10. С.125-127.
- Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1979) – Устройство для измерения напряжений в Земле // *Сейсмические приборы. Вып. 12. Аппаратура, методы и результаты сейсмических наблюдений*. М. 1979. С.82-84.
- Sobolev G. A., Goldstein R. V. et al.** (1979) – Laboratory study of failure precursors // *Geophysik, Leipzig. Gerlands. Beitr.* 1979. V.88. N.2. P.140-153.
- Sobolev G. A., Sondergeld C. H. et al.** (1979) – Changes associated with generalized triaxial deformation of pyrophyllite // *PAGEOPH*. 1979. V.118. N.80.
- Соболев Г. А., Шпетцлер Х, Кольцов А. В., Сондергельд К.** (1980) – Ультразвуковое излучение трещин в деформируемом образце горной породы // *Изв.АН СССР. Физика Земли*. 1980. N 11. С.32-44.
- Соболев Г. А., Лементуева Р. А.** (1980) – Квазипостоянные электрические поля в сейсически и вулканически активный зоне перехода материк-океан // *Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток*. 1980. С.50-58.
- Соболев Г. А., Волорович М. П., Волорович Г. П.** (1980) – Методы пьезоэлектрического эффекта - новое направление в поисково-разведочных работах // *Советская геология*. 1980. № 1. С.114-117.
- Соболев Г. А., Демин В. М, Лось В. Ф., Я.Майбук З.-Ю.** (1980) – Механоэлектрическое излучение рудных тел // *ДАН СССР*. 1980. Т.252. N 6. С.1353-1355.
- Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1980) – Исследования электротеллурического поля // *Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука*. 1980. С.179-181.
- Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1980) – О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов // *ДАН СССР*. 1980. Т.252. N 1. С.69-71.
- Соболев Г. А.** (1980) – Предвестники землетрясений и условия лабораторного эксперимента // *Физика Земли*. 1980. N 12. С.30-43.
- Соболев Г. А.** (1980) – Изучение образования и предвестников разрыва сдвигового типа в лабораторных условиях // *Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука*. 1980. С.86-99.
- Соболев Г. А., Кольцов А. В.** (1980) – Исследование процесса микротрецинообразования в образцах высокопластичной горной породы // *Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука*. 1980. С.99-103.

**Sondergeld C. H., Sobolev G. A. et al.** (1980) – Velocity changes associated with generalized triaxial deformation of pyrophyllite // *PEGEOPH.* 1980. V.118. N.4. P.975-989.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1981) – Датчик для измерения напряжений в горном массиве. Авт. св-во N 825945 // *Бюлл. изобр.* 1981 от 30.04. N 16.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1981) – Способ установки измерительного преобразователя давления горных пород. Авт. св-во N 838440 // *Бюлл. изобр.* 1981 от 15.06. N 22.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1981) – Способ регистрации вариаций напряжений Земли. Авт. св-во N 890296 // *Бюлл. изобр.* 1981 от 15.12. N 46.

**Соболев Г. А., Демин В. М** (1981) – Способ геофизической разведки тел-пьезоэлектриков. Авт. св-во N 890349 // *Бюлл. изобр.* 1981 от 15.12. N 890349. N 46.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1981) – Электрометрические исследования в районе Ингурис ГЭС // *Геологово-геофизические исследования в районе Ингурис ГЭС. Тбилиси.* 1981. С.51-70.

**Spetzler H., Sobolev G. A. et al.** (1981) – Surface deformation, crack formation, and acoustic velocity changes in pyrophyllite under polyaxial loading // *J.Geoph. Res.* 1981. V.86. N.2. P.247-257.

**Демин В. М., Соболев Г. А., Лось В. Ф., Майбук З.-Ю.Я.** (1981) – О природе механоэлектрического излучения рудных тел // *ДАН СССР.* 1981. Т.260. N 2. С.306-309.

**Соболев Г. А., Семерчан А. А. и др.** (1981) – Изучение предвестников механического разрушения больших образцов // *ДАН СССР.* 1981. Т.260. N 3. С.616-619.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1981) – Изучение естественного электрического поля в условиях Кавказа и сопоставления его изменений с местными землетрясениями // *Физика Земли.* 1981. N 9. С.75-80.

**Стаховская З. И., Микаелян А. О., Соболев Г. А.** (1981) – Влияние внутриворового давления на скорости упругих волн в известняках при всестороннем и осевом сжатии // *Физика Земли.* 1981. N 2. С.51-57.

**Соболев Г. А., Бабичев О. В. и др.** (1981) – О влиянии давления на процессы подготовки и предвестники разрушения горной породы // *Физика Земли.* 1981. N 1. С.26-35.

**Соболев Г. А., Усманова М. Т., Завьялов А. Д.** (1981) – Современный сейсмический режим Восточного Узбекистана и сопредельных территорий // *Узбекский геолог. журн.* 1981. N 6. С.13-17.

**Sobolev G. A., Zavialov A. D.** (1981) – A concentration criterion for seismically active faults. Earthquake prediction // *Intern. Review Maurico Ewing Series* 4. 1981.

**Sobolev G. A., Sondergeld C. H. et al.** (1981) – Velocity changes associated with generalised triaxial deformation of pyrophyllite. The Soviet-American Exchange in Earthquake Prediction // *USGS, report*. 1981.

**Sobolev G. A, Spetzler H. et al.** (1981) – Ultrasonic fracture radiation in a rock specimen under compression. The Soviet-American Exchange Prediction // *USGS, report*. 1981.

**Соболев Г. А., Семерчан А. А.** (1982) – Предвестники разрушения большого образца горной породы // *Физика Земли*. 1982. N 8. С.29-43.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Лось В. Ф., Майбук З.-Ю.Я.** (1982) – Возникновение заряда поли металлических руд в естественных условиях под действием упругой волны // *ДАН СССР*. 1982. Т.267. N 6. С.1340-1343.

**Соболев Г. А.** (1982) – Связь предвестников разрушения с изменением напряженно-деформированного состояния пород // *Модели изменения напряженно-деформированного состояния массивов пород в приложении к прогнозу землетрясений*. АН СССР, Апатиты. 1982. С.24-37.

**Соболев Г. А.** (1982) – Способы геофизической разведки, основанные на использовании вызванного взрывом радиоволнового излучения рудных тел // *Всесоюзное совещание по разработке и комплексированию геофизических методов при детальной и эксплуатационной разведке рудных месторождений*. Изд. АН Арм. ССР, Ереван. 1982.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Лось В.Ф., Майбук З.-Ю.Я.** (1982) – Применение пьезоэлектрического метода для поисков и разведки полиметаллических рудных тел // *Всесоюзное совещание по разработке и комплексированию геофизических методов при детальной и эксплуатационной разведке рудных месторождений*. Изд. АН Арм. ССР, Ереван. 1982.

**Соболев Г. А.** (1982) – Говорит подземная кладовая // *Земля и Вселенная*. 1982. N 1. С.32-36.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Лось В. Ф., Майбук З.-Ю.Я.** (1982) – Исследование электромагнитного излучения пород, содержащих минералы-полупроводники и пьезоэлектрики // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1982. N 11.

**Соболев Г. А., Кольцов А. В.** (1982) – Исследование систем и иерархии трещин в процессе подготовки разрушения образцов горных пород // *Физика очага и предвестники земле трясений. ВИНИТИ*. 1982.

**Соболев Г. А., Микаелян А. О. и др.** (1982) – Изменение скоростей упругих волн и электросопротивления под влиянием внутрипорового давления в условиях

всестороннего сжатия // Физика очага и предвестники землетрясений. ВИНИТИ. 1982.

**Соболев Г. А., Шевцов Г. И.** (1982) – Электризация при квази статическом деформировании материалов с ионным типом связи // Электромагнитные предвестники землетрясений. М. 1982. С.35-36.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1982) – Вариации электротеллурического поля (ЭТП) // Электромагнитные предвестники землетрясений. М. 1982. С.26-27.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1982) – Испытание аппаратуры и методики регистрации вариаций механических напряжений горных пород в натурных условиях // Модели из менений напряженно-деформированного состояния массивов горных пород в приложении к прогнозу землетрясений. Мат.Всес.школы-сем. Апатиты. 1982. С.105-109.

**Соболев Г. А.** (1982) – Поляризация диэлектриков при воздействии силовых полей // Электромагнитные предвестники землетрясений. М. 1982. С.37-38.

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др.** (1982) – Способ геофизической разведки рудных тел. Авт. св-во N 973453 // Бюлл. изобр. 1982 от 07.11 N 41.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1982) – Устройство для измерения механических напряжений. Авт. св-во N 966234. Бюлл. изобр. 1982. N 38.

**Абдулакеров К. Н., Гохберг М. Б., Мавлянов Г. А., Мигунов Н. И., Моргунов В. А., Садовский М. А., Соболев Г. А., Уловом В. И., Хромов А. А., Хусамиддинов С. С.** (1982) – Электромагнитное излучение // Электромагнитные предвестники землетрясений. М. 1982. С. 24-27.

**Sobolev G., Rummel F.** (1982) – Shear fracture development and seismic regime in pyrophyllite specimens with soft inclusions // J. of Geophysics. 1982. V.51.

**Sobolev G. A, Shporkin M.** (1982) – Rock-stress variations of the strain field study // ISRM Symposium, Rotterdam. 1982.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1983) – Способ измерения напряжений горных пород. Авт. св-во N 1038901 // Бюлл. изобр. 1983 от 30.08. N 32.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Майбук З.-Ю. Я.** (1983) – Явление генерации природными полиметаллическими рудными телами электромагнитного излучения. Открытие // Бюлл.откр. и изобрет., Диплом N 267. 1983. от 15.06. N 22.

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др.** (1983) – Способ геофизической развед полиминеральных рудных тел. Авт. св-во N 1041973 // Бюлл. изобр. 1983 от 15.09. N 34.

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др.** (1983) – Способ определения изменений напряженно-деформированного состояния горных пород. Авт. св-во N 996976 // Бюлл. изобр. 1983. N 6.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1983) – Некоторые закономерности сейсмического режима и прогноз землетрясений // Физика очага и прогноз землетрясений. ВИНИТИ. 1983.

**Соболев Г. А., Бабичев О. В. и др.** (1983) – Изучение вариаций скоростей упругих волн перед разрушением образцов в зависимости от давления // Физика очага и прогноз землетрясений. ВИНИТИ. 1983.

**Соболев Г. А., Мигунов Н. И., Хромов А. А.** (1983) – Естественное электромагнитное излучение и сильные землетрясения на Камчатке // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. N 4, С.93-99

**Соболев Г. А., Руммель Ф.** (1983) – Изучение образования сдвиговых трещин и сейсмического режима в образцах, содержащих включения пониженной прочности // Физика Земли. 1983. N 6. С.59-73.

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др.** (1984) – Вызванное упругой волной Gamma-излучение горных пород // ДАН СССР. 1984. Т.276. N 3. С.583-585.

**Соболев Г. А., Марков Г. А.** (1984) – Изучение информативности различных физических методов при разрушении целиков. Комплексные исследования физических свойств горных пород и процессов. М.: МГИ. 1984.

**Соболев Г. А., Семерчан.** (1984) – Землетрясение в лаборатории // Наука в СССР. 1984. N 4. С.55-57.

**Соболев Г. А., Мигунов Н. И., Хромов А. А.** (1984) – Естественное электромагнитное излучение в сейсмоактивных районах. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. N 7. С.55-63

**Соболев Г. А., Шевцов Г. И., Шевцова Н. И.** (1984) – Электризация полевых шпатов при их деформации и разрушении // Физика Земли. 1984. N 8. С. 97-105.

**Соболев Г. А.** (1984) – Вопросы развития модели лавинно-неустойчивого трещинообразования // Геохимические предвестники землетрясений. М.: Наука. 1984.

**Соболев Г. А., Стаховская З. И., Микаелян А. О.** (1984) – Некоторые особенности влияния порового давления на физические свойства деформируемых пород // Геофиз. ж. 1984. Т.6. N 2. С.38-42.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д.** (1984) – Локализация сейсмичности перед Усть-Камчатским землетрясением // Физика Земли. 1984. N 4.

**Соболев Г. А. (1984) – Предвестники сейсмических явлений // Прогноз землетрясений. N 4. Душанбе-Москва. ДОНИШ . 1983-1984. С.120-137.**

**Соболев Г. А., Симонян С. С. (1984) – Изменение сейсмоэлектрического эффекта при деформации и разрушении горной породы // Прогноз землетрясений. N 4. Душанбе-Москва. ДОНИШ. 1983-1984. С.257-265.**

**Соболев Г. А., Лыков В. И. и др. (1984) – Методика выявления развивающегося землетрясения по комплексу сейсмологических параметров // Прогноз землетрясений. N 5. Душанбе-Москва. ДОНИШ. 1984. С.127-138.**

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д. (1984) – Процесс формирования сдвигового разрыва и режим землетрясений // Прогноз землетрясений. N 5. Душанбе-Москва. ДОНИШ 1984. С.160-172.**

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др. (1984) – Способ предотвращения разрушений блоков горных пород, содержащих полиметаллы. Авт. св-во N 110459 // Бюлл. изобр. 1984 от 23.07 N 27.**

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др. (1984) – Способ определения положения забоя скважины относительно горной выработки. Авт. св-во N 1103167 // Бюлл. изобр. 1984 от 15.07 N 26.**

**Соболев Г. А., Усманова М. Т. (1984) – Пространственно-временные вариации наклона графика повторяемости землетрясений Восточного Узбекистана и сопредельных территорий // Узб. геол. ж. 1984. N 6.**

**Sobolev G. A. (1984) – The study of failure forerunners on the big samples. Seism. Press, Beijing ,China. Continental seismicity and Earthquake prediction. 1984**

**Sobolev G. A., Varshal G. M. et al. (1985) – Separation of volation components from rocks under mechanical loading as the source of hydrogeochemical anomalies preceding earthquakes // PAGEOPH. 1984-1985. V.122. N.2-4. P.463-477.**

**Соболев Г. А., Мигунов Н. И.,Хромов А. А. (1985) – Способ прогноза землетрясений. Авт. св-во N 1202420 // Бюлл. изобр. 1984 от 22.05.**

**Соболев Г. А. (1985) – Вопросы развития модели лавино-неустойчивого трещинообразования // Гидрогеохимические предвестники землетрясений. М. 1985. С.17-22.**

**Соболев Г. А., Рудаков В. П. (1985) – К вопросу об использовании эманационного метода для прогноза землетрясений // Геохимические предвестники землетрясений. М.: Наука. 1985. С.163-169.**

**Соболев Г. А., Асатрян Х. О., Стаковская И. З., Андреев В. О., Кольцов А. А. (1985) –Исследование трещинообразования в процессе фазового перехода // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. Тез.докл. Фрунзе. 1985. С.12.**

- Соболев Г. А., Варшал Г. М., Барсуков В. Л.** (1985) – О закономерностях дегазации массивов пород при их механическом нагружении // *Вулканизм и связанные с ним процессы. Вып. 1. Петропавловск-Камчатский*. 1985. С.196-198.
- Соболев Г. А., Горбунова И. В. и др.** (1985) – Определение длины и скорости распространения разрыва по сейсмическим и акустическим данным // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1985. N 3. С.41-48.
- Соболев Г. А., Осокина Д. Н.** (1985) – Оценка полей напряжений в сейсмоактивных районах по геофизическим данным // *Взаимосвязь геологотектонич. строения, се-в, структурных особенностей и проявлений избыточной напряженности. ГоИ КФАН СССР. Алматы*. 1985. С.39-61.
- Соболев Г. А., Асатрян Х. О. и др.** (1985) – К вопросу о влиянии фазового перехода на процесс разрушения // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1985. N 12. С.25-29.
- Sobolev G. A., Kamshilin A. N., Kravchenko V. B.** (1985) – Investigation of Resistivity Variations by Means of a Highly Sensitive Electrovariometr. // *Earthg. Predict. Res.* 1985. V.3. N.1. P.25-32.
- Sobolev G. A., Husamiddinov S. S.** (1985) – Pulsed Electromagnetic Earth and Ionosphere Field Disturbances Accompanying Strong Earthquakes // *Earth. Predict. Res.* 1985. V.3. N.1. P.33-45.
- Sobolev G. A.** (1985) – Physical Processes during the Earthquake preparation period: Ex Theory. Earthquake prediction // *Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, UNESCO. Paris*. 1985.
- Соболев Г. А.** (1986) – Взаимодействие сейсмических волн: частотный анализ, возможные приложения // *Сейсмический мониторинг земной коры*. М. 1986. С.206-207.
- Соболев Г. А., Лементуева Р. А.** (1986) – Естественные электрические поля в районе вулкана Авача на Камчатке // *Вулканология и сейсмология*. 1986. N 3. С.101-107.
- Соболев Г. А., Пономарев А. В., Хромов А. А., Лементуева Р. А.** (1986) – Исследование электротеллурических полей в сейсмоактивных зонах // *Сейсмичность и сейсмический прогноз на Дальнем Востоке. Петропавловск-Камчатский*. 1986. С 115-116.
- Соболев Г. А., Бадари К, Фролов А. Д.** (1986) – Анализ деформационных предвестников разрушения крупного образца долерита // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1986. N 10. С.95-98.
- Соболев Г. А.** (1986) – Исследование напряжений и деформаций сейсмологическими и другими геофизическими методами в СССР // *Динамика и эволюция литосферы*. М.: Наука. 1986.

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др.** (1986) – Способ определения минерального состава рудных тел в массиве горных пород. Авт. св-во N 1275345 // *Бюлл. изобр.* 1986 от 17.12 N 45.

**Соболев Г. А., Лось В. Ф. и др.** (1986) – Устройство для записи сейсмоэлектрических сигналов. Авт. св-во N 1273860 // *Бюлл. изобр.* 1986 от 30.11 N 44.

**Соболев Г. А., Рах М. В.** (1986) – О некоторых вопросах на стыке дизъюнктивной тектоники и сейсмологии // *Мат. и эксперим. методы в дизъюнктивной тектонике.* М. 1986.

**Садовский М. А., Соболев Г. А. и др.** (1986) – Исследование предвестников разрушения на модели неоднородной среды // *ДАН СССР.* 1986. Т.287. N 6. С.1354-1357.

**Sobolev G. A.** (1986) – The study of barrier fracture in relation to earthquake and rockburst predication // *PAGEOPH.* 1986. V.124. N.4-5. P.811-824.

**Соболев Г. А.** (1987) – Землетрясение в лаборатории // *Земля и Вселенная.* 1987. N 1.

**Соболев Г. А.** (1987) – Исследование разрушения барьеров применительно к проблеме прогноза землетрясений // *Физические основы прогнозирования разрушения горных пород.* М. 1987. С.58-67.

**Соболев Г. А., Демин В. М. и др.** (1987) – Способ разведки полиметаллических рудных тел. Авт. св-во. N 1291914 // *Бюлл. изобр.* 1987 от 23.02 N 7.

**Соболев Г. А., Демин В. М.** (1987) – Солитоноподобные колебания в полиметаллических рудных телах // *ДАН СССР.* 1987. Т.295. N 6. С.1337-1339

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1987) – Способ регистрации вариаций напряжений горных пород. Авт. св.-во N 1364016. 1987 от 01.12.

**Садовский М. А., Соболев Г. А. и др.** (1987) – Исследования предвестников разрушения на модели неоднородной среды // *ДАН СССР.* 1987. Т.287. N 6. С.1354-1357.

**Sobolev G. A., Spetzler H. et al.** (1987) – Laboratory study of the strain field and acoustic emissions during the failure of a barrier // *J.Geophys. Res.* 1987. V.92. N.9. P.9311-9318.

**Sobolev G. A., Spetzler H. et al.** (1987) – Seismic and strain studies on large laboratory rock sample being stressed to failure // *Tectonophysics.* 1987. V.144. N.1-3. P.55-68.

**Sobolev G. A.** (1987) – Physics of the earthquake source Modelling studies Losses // *New. York. Earthq.Predic. and Mitigation of Earthquake* 1987. P.235-251.

- Соболев Г. А., Баддари К, Фролов А. Д.** (1988) – Комплексные разрушения крупных блоков горных пород // *ДАН СССР*. 1988. Т.299. N 5. С.1087-1091.
- Соболев Г. А., Демин В. М.** (1988) – Кинетика электромагнитного и акустического изучений как предвестник неустойчивости контактов блоков // *ДАН СССР*. 1988. Т.303. N 4. С.834-837.
- Соболев Г. А., Лыков В. И. и др.** (1988) – Методика долгосрочного прогноза землетрясений с использованием комплекса параметров сейсмического режима // *Современное состояние сейсмических исследований в Европе. М.* 1988. С.149-158.
- Sobolev G. A., Zavjalov A. D.** (1988) – Analogy in precursors of dynamic events at different scales // *Tectonophysics*. 1988. V.152. N.3-4. P.277-282.
- Соболев Г. А.** (1989) – Поиск долгосрочных предвестников землетрясений на Кавказе // *Прогноз землетрясений. Душанбе-Тбилиси.* 1989. N 12. С.315-331.
- Соболев Г. А., Усманова М. Т.** (1989) – Вариации наклона графика повторяемости как один из возможных предвестников сильных землетрясений в Узбекистане // *Эксперим. и числ. методы в физике очага земл-ний. М.* 1989 С.54-60.
- Соболев Г. А., Асатрян Х. О., Салов Б. Г.** (1989) – Акустическая эмиссия при разрушении материала в условиях фазового перехода // *Физика Земли.* 1989. N 1. С.38-43.
- Соболев Г. А.** (1989) – Проблема прогноза землетрясений // *Природа.* 1989. N 12. С.47-54.
- Соболев Г. А.** (1989) – Проблема прогноза землетрясений. Наука // *Комплексные исследования по физике Земли. М.* 1989. С.116-134.
- Соболев Г. А., Васильев В.Ю, Ратушный В. В., Завьялов А. Д.** (1989) – Изучение закономерностей группирования землетрясений // *Обработка изображений геофизической среды. М.* 1989 С.15-22.
- Соболев Г. А., Салов Б. Г. и др.** (1989) – Предвестники в акустической эмиссии разрушения барьера сдвигом. // *Эксперим. и численные методы в физике очага землетрясения. М.* 1989. С.221-226.
- Соболев Г. А., Демин В. М., Майбук З.-Ю.Я., Носкевич В. В.** (1989) – Механоэлектрическое последствие в полиметаллических рудных телах // *ДАН СССР*. 1989. Т.306. N 6. С.1344-1346.
- Мигунов Н. И., Соболев Г. А., Хусамиддинов С. С.** (1989) – Собственное электромагнитное излучение сейсмоактивных районов // *ДАН Узб. ССР.* 1989. № 4. С. 47-49.

**Sobolev G. A., Spetzler H., Getting I. C.** (1989) – Holography in laboratory experiments pertinent to rock deformation and failure // *Laser holography in geophysics*. Halsted Press. N 4. Brisbane, Toronto .1989. P.31- 105.

**Соболев Г. А., Соломатина Э. К., Николаев А. В., Никонов А. А.** (1990) – Еще один шаг к прогнозу // *Наука в СССР*. 1990. N 6. С.42-48.

**Соболев Г. А., Челидзе Т. Л., Завьялов А. Д. и др.** (1990) – Карта ожидаемых землетрясений основанная на комплексе сейсмологических признаков // *Изв.АН СССР. Физика Земли*. 1990. N 11. С.45-56.

**Соболев Г. А., Асатрян Х. О.** (1990) – Развитие иерархии разрывов при деформировании высокопластического материала // *ДАН СССР*. 1990. Т.315. N 2. С.345-347.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Хайдаров Б. Х.** (1990) – Свойства электромагнитной и акустической эмиссии перед горным ударом // *Узбекский геологический журнал*. 1990. N 5. С.6-9.

**Sobolev G. A., Vasiliev V.** (1990) – On clustering properties of small earthquakes before large shocks. *ibid*; 1990, P.793-802.

**Соболев Г. А., Челидзе Т. Л., Завьялов А. Д.** (1991) – Карта ожидаемых очагов землетрясений Кавказа и ее динамика // *Модельные и натуральные исследования очагов земл.-ний*. М. 1991. С.106-116

**Соболев Г. А., Мигунов Н. И., Хромов А. А.** (1991) – Влияние спитакского землетрясения на естественное излучение радиоволн // *Изв.АН СССР. Физика Земли*. 1991. N 11. С.117-123.

**Соболев Г. А., Шпетцлер Х., Кольцов А. В.** (1991) – Некоторые свойства неустойчивого скольжения по неровному разрыву // *Физика горных пород при высоких давлениях*. М.1991. С.97-108.

**Соболев Г. А., Асатрян Х. О.** (1991) – Образование иерархической структуры разрывов при деформировании высокопластического материала // *Физика горных пород при высоких давлениях*. М. 1991. С.138-141.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Майбук Ю. Я.** (1991) – Радиоимпульсный метод поиска и разведки рудных полезных ископаемых // *Физика горных пород при высоких давлениях*. М. 1991. С.200-209.

**Соболев Г. А., Майбук Ю. Я., Демин В. М.** (1991) – Система сбора и обработки информации электромагнитноакустического (ЭМА) метода прогноза горных ударов // *Физические процессы горного производства*. М. 1991. С.139.

**Соболев Г. А., Кольцов А. А., Андреев В. О.** (1991) – Триггерный эффект колебаний в модели землетрясения // *ДАН СССР*. 1991. Т.319. N 2. С.337-342.

**Соболев Г. А., Васильев В. Ю.** (1991) – Характерные проявления группирования землетрясений в районе Джавахетского нагорья // *Модельные и натуральные исследования очагов землетрясений*. М. С.122-131.

**Соболев Г. А., Васильев В. Ю.** (1991) – Особенности группирования эпицентров слабых толчков перед сильными землетрясениями Кавказа // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1991. N 4. С.24-36.

**Sobolev G. A., Ponomaryov A. W., Los V., Stopinski. W.** (1991) – Fast-changing processes in a medium subject to Loading as detected by resistivity measurements // *Pure and Applied Geophysics*. 1991. V.136. N 1. P.49-50.

**Sobolev G. A., Chelidze T. L., Zavyalov A. D. et al.** (1991) – Maps of expected earthquakes based on a combination of parameters. *Earthquake prediction // Tectonophysics*. 1991. V.193. N 4. P.255-265.

**Sobolev G. A., Zavialov A.** – Approach to dynamic seismic hasard map. *ibid*; P.12.

**Sobolev G. A., Koltsov A.** – Mechanical Distrur bance effect on the stick-slip model of the Earthquake source. *ibid*; P.110.

**Sobolev G. A., Asatryan H.** – Development of fracture hierarchy at deformation of the samples with high plasticity. *ibid*; P.162.

**Sobolev G. A., Vasiliev V.** – A method of studying variations of the spatial-temporal distribution of Earthquakes prior to large shochs. *Ibid* . P.148.

**Sobolev G. A., Zavyalov A.** – Experience in using maps of expected earthquakes for medium-term prediction at varians seismoactive regions. *ibid*; -- P.175-178.

**Соболев Г. А., Варшал Г. М., Барсуков В. Л.** (1992) – О закономерностях дегазации пород при их механическом нагружении // *Физические и сейсмологические основы прогнозирования разрушения горных пород*. М. 1992. С.102-110.

**Sobolev G. A.** (1992) – Earthquake Prediction in the USSR: Fundamental Principles // *J.of Earthq. Prediction Res.* 1992. V.1, N 1. P.21-42.

**Соболев Г. А., Демин В. М.** (1993) – Радиоимпульсный метод (РМ) поиска и разведки рудных тел // *Межд. науч. конф. "Геофизика и современный мир" 9-13 августа 1993 г. Сб. рефератов и докладов*. М. 1993. С.290.

**Соболев Г. А.** (1993) – Сейсмическая опасность России и сопредельных территорий // *Межд. науч. конф. "Геофизика и современный мир" 9-13 августа 1993 г. Сб. рефератов докладов*. М. 1993. С 83 .

**Соболев Г. А.** (1993) – Текстурный анализ в геофизике // *Физика Земли*. 1993. N 6. С. 65-67

**Sobolev G. A, Spetzler H, Koltsov A, Chelidze T.** (1993) – An Experimental Study of Triggered Stick-slip // *PAGEOPH*. 1993. V.140, N.1. P.1-16.

**Крылов С. М., Соболев Г. А.** (1994) – О сверхнизкочастотном вихревом гравитационном поле на земной поверхности // *ДАН*. 1994 Т.339 N 3. С.398-400.

**Соболев Г. А., Завьялов А.Д, Седова Е. Н.** (1994) – Кодекс этики прогнозирования землетрясений // *Физика Земли*. 1994. N 1. С. 91-93.

**Соболев Г. А., Мигунов Н.И, Хромов А. А.** (1994) – Изменение интенсивности и направленности естественного радиоизлучения при сильных землетрясениях в Карпатах // *Физика Земли*. 1994. N 10. С. 76-80.

**Соболев Г. А., Шпетцлер Х, Кольцов А. В.** (1994) – Инициирование неустойчивой подвижки в лабораторных экспериментах // *Наведенная сейсмичность*. М. 1994. С. 62-72.

**Соболев Г. А.** (1994) – Тернистый путь к прогнозу катастроф // *Наука в России*. 1994. N 4. С. 65-67.

**Соболев Г. А.** (1994) – О связи между сильными землетрясениями Курило-Камчатской зоны // *Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений*. 1994. С. 56-67.

**Sobolev G. A. et al.** (1994) – Problems of earthquake prediction following from the results of laboratory and field work // *J.of Earthq. Prediction Res.* 1994. V.3, N 4. P.477-494.

**Sobolev G. A.** (1994) – A System for analysis of geological catastrophe precursors // *J.of Earthq. Prediction Res.* 1994 V.3, N 4. P.540-555.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В., Кольцов А. В.** (1995) – Возбуждение колебаний в модели сейсмического источника // *Физика Земли*, 1995, N 12, С.72-78

**Sobolev G. A., Asatryan Kh.O., Mansurov V. A.** (1995) – Development of block hierarchy and of acoustic emission in samples of rock under three dimensional compression // *J.of Earthq. Prediction Res.* 1995 V.4, N 1, P.107-111.

**Дубровина Г. В., Соболев Г. А.** (1996) – Эффект изменения высокочастотной части спектра при землетрясениях с форшоками // *Физика Земли*. 1996.

**Соболев Г. А., Тюпкин Ю. С.** (1996) – Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 1996. № 4. С.64-74.

**Sobolev G. A, Ponomarev A. V., Koltsov A. V., Smirnov V. B.** (1996) – Simulation of Trigger Earthquakes in the Laboratory // *PAGEOPH*. 1996.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1997) – Воздействия вибрации на процесс разрушения и акустический режим в модели разломной зоны // *Вулканология и сейсмология*. 1997. С.51-57

**Соболев Г. А.** (1997) – Перспективы международного сотрудничества в прогнозе землетрясений // *Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Аматы*. 1997. С.106-122

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1997) – Способ определения стадии неустойчивости модели геодинамической среды // *ДАН*. 1997. Т.356. № 4. С.541-544

**Соболев Г. А.** (1997) – Уроки Международного Геофизического года // *Вестник РАН*. 1997. Т.67. № 11. С.994-997

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1997) – Воздействия вибрации на процесс разрушения и акустический режим в модели разломной зоны // *Вулканология и сейсмология*. 1997. С.51-57

**Соболев Г. А.** (1997) – Перспективы международного сотрудничества в прогнозе землетрясений // *Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Аматы*. 1997. с.106-122.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1997) – Способ определения стадии неустойчивости модели геодинамической среды // *ДАН*. 1997. Т.356. № 4. С.541-544.

**Соболев Г. А.** (1997) – Уроки Международного Геофизического года // *Вестник РАН*. 1997. Т.67. № 11. С.994-997

**Крылов С. М., Соболев Г. А.** (1998) – О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 3. С. 78-92.

**Соболев Г. А.** (1998) – Стадийность развития очагов и прогнозов землетрясений // *Современная сейсмология. Достижения и проблемы*. М. 1998. С. 35.

**Соболев Г. А., Шестопалов И. П., Харин Е. П.** (1998) – Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // *Физика Земли*. 1998. № 7. С. 85-90.

**Соболев Г. А. (редактор)** (1998) – Георгий Александрович Гамбурцев. (1903-1955). Воспоминания, очерки, статьи // М. 1998.

**Соболев Г. А., Лементуева Р. А.** (1998) – Нелинейные преобразования в деформационном и электрических полях в образцах горных пород при сложном напряженном состоянии // *Современная сейсмология. Достижения и проблемы*. М. 1998. С. 16.

**Соболев Г. А.** (1998) – Национальная научная конференция. “Современная сейсмология: Достижения ОГГГН РАН: Электронный научно-информационный журнал; печатный аналог ж. 1998. № 3(5). С. 124-128.

**Соболев Г. А., Тюпкин Ю. С.** (1998) – Стадии подготовки, сейсмологические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 1998. N 6. С. 17-26.

**Мигунов Н. И., Соболев Г. А., Росанов Н. И.** (1999) – Дистанционные исследования мощных источников естественного радиоизлучения в сейсмоактивных районах // *Физика Земли*. 1999. N 4. С.20-31.

**Мигунов Н. И., Соболев Г. А., Росанов Н. И.** (1999) – О связи землетрясений с молниевыми разрядами. // *Взаимодействие в системе литосфера-гидросфера-атмосфера. Под редакцией Рыкунова Л.Н., Анисимовой Е. П., Покозеева К.В. М.: МГУ. 1999. Т.2. С. 170-178.*

**Соболев Г. А.** (1999) – Стадии подготовки сильных Камчатских землетрясений // *Вулканология и сейсмология*. 1999. N 4-5. С. 63-72.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (1999) – Акустическая эмиссия и стадии подготовки разрушения в лабораторном эксперименте // *Вулканология и сейсмология*. 1999. N 4-5. С. 50-62.

**Соболев Г. А.** (1999) – Физика сейсмического процесса и прогноз землетрясений // *Геофизика на рубеже веков. ОИФЗ РАН*. 1999. С. 70-79.

**Пономарев А. В., Соболев Г. А., Гитис В. Г., Чжан Чжаочэн, Ван Гусюан, Чин Синси.** (1999) –Комплексный анализ геофизических полей для обнаружения пространственно-временных предвестников землетрясений // *Электронный научно-информационный журнал “Вестник ОГГГН РАН”*.

**Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S.** (1999) – Precursory Phases, Seismicity Precursors, and Earthquake Prediction in Kamchatka // *Volkanologiya i Seismologiya*. 1999. V. 20. P. 615-627.

**Baddari K., Sobolev G. A., Frolov A. D., Ponomarev A. V.** (1999) – An integrated study of physical precursors of failure in relation to earthquake prediction, using large scale rock blocks // *Annali di Geofisica*. 1999. Vol.42. N 5. P.771-787.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V..** (1999) – Determination of instability of the fault zone model // *Российский журнал наук о Земле*. 1999. Т.1. No.5.  
[http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rjes\\_r00.htm](http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rjes_r00.htm).

**Sobolev G. A., Zavyalov A. D., Tyupkin Yu. S.** (1999) – Map of expected earthquakes algorithm and RTL prognostic parameter: joint application // *Российский журнал наук о Земле*. 1999 N 4. С. 301-309. ( URL: <http://eos.wdcb.ru/tjes/tje99017/tje99017.htm>).

**Соболев Г. А., Тюпкин Ю. С.** (2000) – Анализ процесса выделения энергии при формировании магистрального разрыва в лабораторных исследованиях по разрушению горных пород и перед сильными землетрясениями // *Физика Земли*. 2000. № 2. С. 44-55.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (2000) – Потенциальные очаги землетрясений и среднесрочный прогноз по сейсмологическим и геофизическим данным. // *Наукоемкие технологии*. 2000. № 1. Т.1. С.19-34.

**Соболев Г. А., Аносов Г. И., Аптикаев Ф. Ф., Арефьев С. С., Бесстрашнов В. М., Будников В. А., Годзиковская А. А., Завьялов А. Д., Иванов В. В., Иогансон Л. И., Козырев А. А., Лабазина Е. Ю., Левин Б. В., Маловичко А. А., Николаев А. В., Пелиновский Е. Н., Рейснер Г. И., Рогожин Е. А., Соловьева О. Н., Старовойт О. Е., Уломов В. И., Федотов С. А., Хубуная С. А., Шебалин Н. В., Шолпо В. Н., Шумилина Л. С.** (2000) – Сейсмические опасности (отв. ред. Соболев Г. А.) // В кн.: *Природные опасности России в 6-ти томах*. М.: КРУК. 2000. Т.2. 296 с.

**Sobolev G. A., Ponomarev A..V., Tyupkin Yu. S.** (2000) – The stages of earthquake preparation: laboratory experiment and field study. // In "Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction", Kluwer Academic Publishers. 2000. P.211-223.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Kol'tsov A. V., Salov B. G., Babichev O. V., Terent'ev V. A., Patonin A. V., Mostryukov A. O.** (2000) – Excitation of Acoustic Emission by Elastic Impulses // *Journal of Earthquake Prediction Research*.

**Ponomarev A. V., Sobolev G. A., Gitis V.G. Zhang Zhaocheng, Wang Guixuan, Qin Xinxi.** (2000) – Application of geotime computer environment to space-time modelling of earthquake preparation processes. (сдана в печать).

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Tyupkin Yu. S.** (2000) – The stages of earthquake preparation: laboratory experiment and field study // *Kluwer academic publishers*.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Kol'tsov A. V., Salov B. G., Babichev O. V., Terent'ev V. A., Patonin A. V., Mostryukov A. O.** (2000) – Excitation of Acoustic Emission by Elastic Impulses // *Journal of Earthquake Prediction Research*.

**Г.А.Соболев., Пономарев А. В. и др.** (2001) – Возбуждение акустической эмиссии упругими импульсами // *Физика Земли*. 2001. № 1. С.79-84.

**Qinghua Huang, Sobolev G. A.** (2001) – Seismic quiescence prior to the 2000 M=6.8 Nemuro Peninsula earthquake // *From Proceeding of the Japan Academy*, 2001. Vol.77. Ser. B. No. 1. P.1-6.

**Соболев Г. А., Никитин А. Н., Савелова Т. И., Яковлев В. Б.** (2001) – Теоретико-экспериментальный подход к исследованию микро- и макросвойств и состояния горных пород (возможное направление развития моделей очагов землетрясений) // *Физика Земли*. 2001. №1. С.6-15.

**Соболев Г. А., Штерн Ю. М.** (2001) – Критическое скольжение в модели землетрясения: теория и эксперимент // *Физика Земли*. 2001. №1. С.85-88.

**Соболев Г. А., Никитин А. Н.** (2001) – Нейтронография в геофизике // *Физика элементарных частиц и атомного ядра. Дубна*. 2001. С.1359-1404.

**Соболев Г. А., Закржевская Н. А., Харин Е. П.** (2001) – О связи сейсмичности с магнитными бурями // *Физика Земли*. 2001. № 11. С. 62-72.

**Sobolev G.** (2001) – The examples of earthquake preparation in Kamchatka and Japan // *TECTONOPHYSICS*. 2001. Special Volume, 338. No.3-4. P.17-28.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Tyupkin Yu. S.** (2001) – The stages of earthquake preparation: laboratory experiment and field study // *Kluwer academic publishers*. 2001. С. 17-32.

**Huang Q. Sobolev G., Nagao T.** (2001) – Characteristics of seismic quiescence and activation patterns before the M=7.2 Kobe earthquake, January 17, 1995 // *TECTONOPHYSICS*. 2001. 337. P.99-116.

**Sobolev G.** (2001) – Physics of Earthquake Source and Prediction. Abstracts. The first Kazakhstan-Japan // *Workshop on Destructive Earthquake Disaster Prevention. June 25-28, 2001. Almaty*. P.11.

**Sobolev G. A., Huang Q., Nagao T.** (2002) – Phases of earthquake's preparation and by chance test of seismic quiescence anomaly // *Journal of Geodynamics*. 2002. 33. P.413-424.

**Huang, Q., Oncel A. O., Sobolev G. A..** (2002) – Precursory seismicity changes associated with the Mw=7.4 Izmit earthquake, August 17 1999 // *Geophysical Journal International*. 2002. No 4. P.110-123.

**Закржевская Н. А., Соболев Г. А.** (2002) – О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность // *Физика Земли*. 2002. №4. С.3-15.

**Соболев Г. А., Смирнов Б. В., Габсатарова И. П., Шумилина Л. С.** (2002) – Динамика потенциальных очагов северного Кавказа // *Катастрофические процессы и их влияние на окружающую среду. Том. 2. Сейсмичность. Министерство промышленности, науки и технологий Российской Федерации*. Москва, 2002. С.401-419.

**Соболев Г. А., Шумилина Л. С.** (2002) – Динамика некоторых потенциальных очагов Камчатки // *Катастрофические процессы и их влияние на окружающую среду. Том. 2. Сейсмичность. Министерство промышленности, науки и технологий Российской Федерации*. Москва, 2002. С. 429-438.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (2003) – Физика очага и среднесрочный прогноз землетрясений // *Очерки геофизических исследований*. М.: ОИФЗ РАН. 2003. с.11-20.

**Соболев Г. А.** (2003) – Применение алгоритма RTL для анализа стадий подготовки сильных землетрясений Калифорнии // *Физика Земли*. 2003. N 2. C.3-13.

**Sobolev G. A., Huang Q., Nagao T.** (2002) – Phases of earthquake's preparation and by chance test of seismic quiescence anomaly // *Journal of Geodynamics*. 2002. 33. P.413-424.

**Huang, Q., Oncel A. O., Sobolev G. A.** (2002) – Precursory seismicity changes associated with the Mw=7.4 Izmit earthquake, August 17 1999 // *Geophysical Journal International*. 2002. P.110-123.

**Соболев Г. А.** (2003) – Сейсмические свойства внутренней и внешней зоны очага землетрясения // *Вулканология и сейсмология*. 2003. N3. С. 41-51.

**Sobolev G., Ponomarev A.** (2003) – Electric excitation of acoustic emission in laboratory // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 5, 00137. European Geophysical Society. 2003.

**Sobolev G., Gitis V., Ponomarev A., Kazakov V., Kurskeeva L., Belosliudtsev O.** (2003) – Complex analysis data in seismoactive region of the Central Asia // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 5, 14666. European Geophysical Society. 2003.

**Закржевская Н. А., Соболев Г. А.** (2004) – Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах // *Вулканология и сейсмология*. 2004. №3. С.63-75.

**Соболев Г. А.** (2004) – Вариации микросейсм перед сильным землетрясением // *Физика Земли*. 2004. №6. С.3-13.

**Соболев Г. А.** (2004) – Проблема прогноза землетрясений // *Ломоносовская школа МГУ по геофизическим методам исследования земных недр: прошлое, настоящее, будущее*. Москва. МГУ. 2004. С.92-95.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В., Никитин А. Н., Балагуров А. М., Васин Р. Н.** (2004) – Исследование динамики полиморфного альфа-бета-перехода в кварците методами нейтронной дифрактометрии и акустической эмиссии // *Физика Земли*. 2004. №10. С. 5-15.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В.** (2004) – Исследования по физике очага и прогнозу землетрясений // *Современные проблемы геологии. Труды геологического института РАН. Вып.565. М.:Наука*. 2004. С.186-202.

**Мигунов Н. И., Соболев Г. А.** (2006) – О сейсмомагнитных сигналах при землетрясениях Сахалина // *Физика Земли*. 2006. № 3. С. 81-84.

**Соболев Г. А., Любушин А. А.** (2006) – Микросейсмические импульсы как предвестники землетрясений // *Физика Земли*. 2006. № 9. С. 5-17.

**Любушин А. А., Соболев Г. А.** (2006) – Мультифрактальные меры синхронизации микросейсмических колебаний в минутном диапазоне периодов // *Физика Земли*. 2006. № 9. С. 18-28.

**Соболев Г. А., Пономарев А. В., Кольцов А. В., Круглов А. А., Луцкий В. А., Цывинская Ю. В.** (2006) – Влияние инжекции воды на акустическую эмиссию при долговременном эксперименте // *Геология и геофизика*. 2006. Том 47. № 5. С. 608-621.

**Соболев Г. А.** (2007) – О применимости прогностических алгоритмов RTL и оценки энергии к сейсмичности Сахалина // *Вулканология и сейсмология*. 2007. № 3. С.64-78.

**Соболев Г. А., Любушин А. А.** (2007) – Микросейсмические аномалии перед землетрясением 26 декабря 2004 г. на Суматре // *Физика Земли*. 2007. № 5. С.3-16.

**Sobolev G. A., Lyubushin A. A.** (2007) – Using modern seismological data to reveal earthquake precursors. 2007. <http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes> ; <http://www.agu.org/WPS/rjes/>

**Соболев Г. А., Морозов В. Н.. Пономарев А. В., Татаринов В. Н., Лабунцова Л. М.** (2008) – Разработка технологии прогноза загрязнения геологической среды токсичными элементами // *Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий*. М.: ИФЗ РАН. 2008. С.72-85.

**Соболев Г. А.** (2008) – Серии асимметричных импульсов в минутном диапазоне микросейм как индикаторы метастабильного состояния сейсмоактивных зан // *Физика Земли*. 2008. № 4. С.3-16.

**Соболев Г. А., Любушин А. А., Закржевская Н. А.** (2008) – Асимметричные импульсы, периодичность и синхронизация низкочастотных микросейм // *Вулканология и сейсмология*. 2008. № 2. С.135-152.

### **Papiers de conférences**

**Соболев Г. А., Воларович М. П.** (1963) – Разработка пьезоэлектрического метода разведки кварцевых жил в шахтах // 5-ая Всес. научно-техн. конференция. Труды.

**Соболев Г. А., Воларович М. П., Пархоменко Э. И.** (1968) – Лабораторные и полевые исследования пьезоэлектрического эффекта горных пород // Труды симпозиума по физ.-мех. свойствам горн. пород верх. части земн. коры. 1968. С.181-184.

**Соболев Г. А.** (1968) – Современное состояние и перспективы развития пьезоэлектрического метода поисков и разведки кварцевых и пегматитовых тел // *Методы пьезоэлектрического эффекта. Симпозиум Е. Труды VI н.-тех. геофиз.конференции. Ленинград*. 1968. С. 3-4.

**Sobolev G. A., Diomin V. M.** (1972) – Use and interpretation of data in piezoelectric survey // *17 th Geophysical Symposium. Contributions. Karlovy Vary*. 1972.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1978) – Аппаратура и методика для измерения напряжений горных пород // *Шестая Всесоюзная конф. по механике горных пород. Фрунзе*. 1978. С.167-172.

**Соболев Г. А.** (1978) – Исследования деформационных свойств и скоростей упругих волн на образцах осадочных горных пород при трехосном напряженном состоянии // *Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Mat. V Всес.совещ. Баку*. 1978. С.127-128.

**Sobolev G. A., Zavialov A. D.** (1980) – Some regularities of seismic regime and earthquake prediction // *17 th Assembly of ESC. Proc. Budapest*. 1980.

**Соболев Г. А., Стаховская З. И., Бабичев О. В., Кольцов А. В.** (1981) – Исследование деформационных, акустических характеристик и трещиноватости в образцах горных пород при трехосном сжатии // *Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах для задач сейсмологии. Mat. VI Всес.совещ. Ташкент*. 1981. С.73-74.

**Соболев Г. А.** (1981) – Моделирование процессов подготовки и предвестников землетрясений // *Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах для задач сейсмологии. Mat. VI Всес.совещ. Ташкент*. 1981. С.28-29.

**Соболев Г. А.** (1981) – О корреляционных зависи мостях между различными физическими свойствами в известняках из района Ингури ГЭС при высоких давлениях // *Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах для задач сейсмологии. Mat. VI Всес.совещ. Ташкент*. 1981. С.63-64.

**Sobolev G. A., Zavialov A. D.** (1983) – Some regularites of seismic regime and earthguake prediction // *Proc.of the 17-th Assembly. Budapest*. 1983. P.65-69.

**Sobolev G. A, Ponomarev A. V.** (1983) – Study of electric fields in seismoactive regions in comparison wiht seismicity // *Proc.of the 17-th Assembly of ESC. Budapest*. 1983. P.45-49.

**Соболев Г. А.** (1984) – Крупномасштабное моделирование процессов подготовки землетрясений // *Европейская сейсмологическая комиссия. XIX Генеральная ассамблея. Тез.докл. Москва*. 1984. С.34-35.

**Соболев Г. А.** (1984) – Методика долгосрочного прогнозирования землетрясений с использованием комплекса параметров сейсмического режима // *Европейская сейсмологическая комиссия. XIX Генеральная ассамблея. Тез.докл. Москва*. 1984. С.29.

**Соболев Г. А.** (1984) – Параметр концентрации сейсмогенных разрывов и наклон графика повторяемости как предвестники сильных землетрясений Камчатки // *Прогноз сейсмической опасности на Дальнем Востоке. Тез. докл. Южно-Сахалинск.* 1984. С.73-74.

**Sobolev G. A.** (1984) – Seismological aspects of the strain field study // *27-th International Geological Congress. Abstracts. Moscow. 1984.*

**Sobolev G. A.** (1984) – Large scale modeling of processes of earthquake preparation // *ESC. Abstracts. Moscow. 1984.* P.49-50.

**Sobolev G. A., Lykov V. I. et al.** (1984) – Method of Long-term prediction using complex parameters of seismic regime. // *ESC. Abstracts. Moscow. 1984.*

**Соболев Г. А., Козырев А. А., Левчиков А. В.** (1985) – Комплексные исследования напряженно-деформированного состояния и предвестников хрупкого разрушения в целиках при их поэтапном нагружении // *Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. Тез.докл. Фрунзе. 1985.* С.81-82.

**Соболев Г. А., Демин В. М.** (1985) – Разработка и применение импульсного метода (РИМ) геофизической разведки рудных тел // *XXX Международный геофиз.симп. Труды: Серия В.-М. Ч.2. 1985.* С.74-87.

**Sobolev G. A., Spetzler H, Sondergeld C.** (1985) – Failure Studies in Large Laboratory Rock Shecimen // *The 23rd General Assembly of International Association of Seismology and Physics of the Earth's Intte-rior (JASPEI). Tokyo. 1985. V.2. P.7-14.*

**Соболев Г. А.** (1987) – Изучение стадий подготовки землетрясений // *I-й Советско-Китайский симпозиум «Геология, геофизика, геохимия и металлогенез зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану.» Тез.докл. Владивосток. 1987.* С.61.

**Соболев Г. А., Фролов А. Д., Баддари К.** (1988) – Об оценки напряженно деформированного состояния массивов горных пород // *Глубинное строение Тихого океана и его континентального обрамления: Тез.докл. Благовещенск. 1988. Ч. III. С.7-9.*

**Sobolev G. A..** (1988) – Short-term earthquake prediction,State of the Art. Сборник докладов на междунар. конференции в Солониках. 1988.

**Соболев Г. А., Завьялов А. Д., Славина Л. Б., Челидзе Т. Л.** (1990) – Карта ожидаемых землетрясений Кавказа и ее динамика // *Советско-Китайский симпозиум по прогнозу земл.-ний. Тез.докл. Гарм. 1990.* С.22-23.

**Соболев Г. А.** (1990) – Концепция прогноза землетрясений в СССР. *Советско-Китайский симпозиум по прогнозу земл.-ний. Тез. докл. Гарм. 1990.* С.3-4.

**Sobolev G. A, Chelidze T. et al.** (1990) – Map of expected earthquakes for the Caucasus and its dynamics // *XXII General Assambly of ESC. Barcelona, 17-22 September Proceedings*. 1990 P.787-794.

**Sobolev G. A., Vasiliev V.** (1991) – Same features of seismicity prior to strong Caucasus shoks // *XX General Assambly IAGG, Vienna, 11-24 August 1991, Program and Abstracts*. 1991. P.16.

**Sobolev G. A.** (1991) – Geophysical Precursors: state-of-the-art // *Council of Europe International Conrence on Earthquake prediction. Strassbourg, France, 15-18 October, 1991*. P.358-364.

**Sobolev G. A, Ponomarev A. V., Koltzov A. V.** (1995) – Modeling of Earthquakes Triggered by Stress Perturbations. *International Union of Geodesy and Geophysics. XXI General Assembly, Boulder, Colorado, July 2-14 1995, Abstracts, Week A*, P.361

**Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S.** (1996) – New method of intermediate-term earthquake prediction. Seismology in Europe. *ESC. Papers presented at the XXV Gen.Ass., Sept. 9-14, 1996, Reykjavik, Iceland. Iceland Meteor. Off., Ministry for the Environ., Univ. of Iceland, Reykjavik, 1996*. P.229-234.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V.** (1996) – The effect of harmonic oscillations on the deformation and acoustic regime of the fault zone model. Seismology in Europe. *ESC. Papers presented at the XXV Gen.Ass., Sept. 9-14, 1996, Reykjavik, Iceland. Iceland Meteor. Off., Ministry for the Environ., Univ. of Iceland, Reykjavik, 1996*, P.94-99.

**Sobolev G. A. et al.** (1997) – Application of GEOTIME computer environment to Space-time/ Ponomarev A. V., Sobolev G. A., Gitis V.G. et al.// *The 29th General Assembly of the Intern. Assoc. of Seismology and Physics of the Earth's Interior: Abstracts. Thessaloniki, Grecce*. 1997. P. 403.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V.** (1997) – Determination of instability Stage in the Fault Zone model // *The 29th General Assembly of the Intern. Assoc. of Seismology and Physics of the Earth's Interior: Abstracts. Thessaloniki, Grecce*. 1997. P. 402.

**Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S., Zavyalov A. D.** (1997) – Map of expected aerthquakes algorithm and RTL prognostic parameter: Joint Application // *The 29th General Assembly of the Intern. Assoc. of Seismology and Physics of the Earth's Interior: Abstracts. Thessaloniki, Grecce*. 1997. P. 97.

**Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S.** (1997) – RTL prognostic parameter for strong aerthquakes // *The 29th General Assembly of the Intern. Assoc. of Seismology and Physics of the Earth's Interior: Abstracts. Thessaloniki, Grecce*. 1997. P. 143.

**Sobolev G. A. et al.** (1997) – Application of GEOTIME computer environment to Space-time/ Ponomarev A. V., Sobolev G. A., Gitis V.G. et al. // *The 29th General Assembly of the Intern, Assoc. of Seismology and Physics of the Earth's Interior: Abstracts. Thessaloniki Grecce*. 1997. P. 403.

**Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S.** (1998) – The RTL-algorithm application for strong earthquake prediction in Kamchatka // *XXVI General Assembly of the European seismological commission. Papers. 1998.* С.137-144.

**Соболев Г. А. и др.** (1998) – Концепция создания и эксплуатации системы геодинамического мониторинга для целей прогноза сильных землетрясений / Вартанян Г.С., Липилин А. В., Лыгин А.М. и др. // *Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза. Материалы конференции.* М. 1998. С. 7-8.

**Соболев Г. А.** (1998) – Парадигма процесса подготовки землетрясения и стратегия прогноза // *Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза. Материалы конференции.* М. 1998. С. 5-7.

**Соболев Г. А. и др.** (1998) – Концепция создания и эксплуатации системы геодинамического мониторинга для целей прогноза сильных землетрясений / Вартанян Г.С., Липилин А. В., Лыгин А.М. и др. // *Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза. Материалы конференции.* М. 1998. С. 7-8.

**Соболев Г. А.** (1998) – Парадигма процесса подготовки землетрясения и стратегия прогноза // *Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза. Материалы конференции.* М. 1998. С. 5-7.

**Ponomarev A. V., Sobolev G. A., Tyupkin Yu. S., Zavyalov A. D.** (1999) – Physics of the seismic source and earthquakes prediction // *IUGG 99, XXII General Assembly, Birmingham. Abstracts.* A.149.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V.** (1999) – An analysis of the stages of acoustic activity in the laboratory experiment // *IUGG 99, XXII General Assembly, Birmingham. Abstracts.* A.147.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Avagimov A. A., Zeigarnik V. A.** (2000) – Initiating acoustic emission with electric actions // *XXVII General Assembly of the European Seismological Comission (ESC). 10-15 September 2000.* Р. 277- 281.

**Соболев Г. А.** (2001) – Ущерб от землетрясений: Тенденции и прогноз. Тезисы докладов // *Физические проблемы экологии. Третья Всероссийская научная конференция. 22-24 мая 2001г.* С.142.

**Соболев Г. А., Лементуева Р. Ф., Гвоздев А. А.** (2001) – Комплексные исследования деформационных и электрических полей на образцах горных пород при сложно-напряженном состоянии. Физические основы прогнозирования разрушения горных пород // *1-я Международная школа-семинар. 9-15 сентября 2001г. Тезисы докладов.*

**Zakrzhevskaya N. A., Sobolev G. A..** (2002) – On the seismicity effect of magnetic storms // *European Seismological Commission. XXVIII General Assembly. Genoa, Italy, 1-6 September 2002. Book of Abstracts.* Р.236.

**Ponomarev A., Sobolev G., Koltsov A.** (2002) – Acoustic emission under electric excitation // European Seismological Commission. *XXVIII General Assembly. Genoa, Italy, 1-6 September 2002. Book of Abstracts*. P.238.

**Ivankina T.I., Nikitin A. N., Sobolev G. A.** (2002) – Simulation of geodynamic effects in rocks at high temperature and load using neutron diffraction. *European Seismological Commission. XXVIII General Assembly. Genoa, Italy, 1-6 September 2002. Book of Abstracts*. P.197

**Kazakov V., Kurskeeva L., Belosludzev O., Gitis V., Sobolev G., Ponomarev A.** (2002) – Complex anal of geodynamic monitoring data in Almaty prognostic site // European Seismological Commission. *XXVIII General Assembly. Genoa, Italy, 1-6 September 2002. Book of Abstracts*. P.234.

**Sobolev G.** (2004) – Earthquake source physics and middle-term prediction // *Abstracts. V-th General Assembly of the Asian Seismological Commission*, 2004, Erevan. P.61.

**Sobolev G.** (2004) – The arising of seismic flow periodic oscillations before strong earthquakes. // *European Seismological Commission, XXIX General Assembly. Abstracts. Potsdam: University and GFZ Potsdam*, 2004. P.113.

**Sobolev G. A., Ponomarev A. V., Nikitin A. N., Balagurov A. M., Vasin R. N.** (2004) – An investigation of thermal and deformation properties of quartzine at the temperature interval of polymorphic a-b transition by means of neutron diffraction and acoustic emission // *European Seismological Commission, XXIX General Assembly. Abstracts. Potsdam: University and GFZ Potsdam*, 2004. P.113.

**Zavyalov A. D., Baskoutas I., Sobolev G. A., Stavrakakis G. N., Smirnov V. B., Tyupkin Yu. S., Sideris G.** (2004) – New approach to evaluation of seismic regime parameters as the basis of dynamic maps of future earthquake sources // *European Seismological Commission, XXIX General Assembly. Abstracts. Potsdam: University and GFZ Potsdam*, 2004. P.139.

**Sobolev G. A., Lyubushin A. A.** (2007) – Using of modern seismological data to reveal the earthquake precursors // *Materials of the International Conference “50th Anniversary of the International Geophysical Year and Electronic Geophysical Year”. Russia, Suzdal, 16-19 September, 2007*, p.27.

**Sobolev G.** (2007) – Seismicity patterns of two predicted large earthquakes. 23 *General Assembly of IUGG, Perudja, Italy, 1-13 July, 2007*.

#### Témoignages d'auteurs (équivalents des brevets pour l'ex-U.R.S.S.)

**Соболев Г. А., Воларович М. П., Пархоменко Э. И.** (1965) – Способ геофизической разведки кварцсодержащих жил. Авт. свид. N 168812 // *Бюлл. по делам изобретений*. 1965. N12.

**Соболев Г. А., Демин В. М., Воларович М. П.** (1972) – Способ геофизической разведки гнезд пьезоэлектрического кварца - Авт. св-во N 330411 // *Бюлл. изобр.* 1972. N 8. 0.16; 7.04.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1979) – Способ измерения напряжений в горных породах. // *Бюлл. изобр. А/с N 662831.* N 18. 1979 от 25.05.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1980) – Устройство для измерения деформаций горных пород. Авт. св-во N 77980 // *Бюлл. изобр.* 1980 от 15.11. N 42.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1980) – Способ измерения деформаций горных пород. Авт. св-во N 771587 // *Бюлл. изобр.* 1980 от 15.10 N 38.

**Соболев Г. А., Шпоркин М. И.** (1980) – Устройство для измерения напряжений горных пород. Авт. св-во N 761968 // *Бюлл. изобр.* 1980 от 07.09. N 33.

### **3.4. BIBLIOGRAPHIE ITALIENNE TRANSMISE PAR P. F. BIAGI**

**Biagi P. F.** (1969) – Ulteriori indagini sul comportamento geodinamico della diga dell'Ambiesta, *Annali di Geofisica*, XXII, 399

**Biagi P. F.** (1970) – Comportamento geodinamico della diga di Vodo di Cadore, *Annali di Geofisica*, XXIII, 213

**Biagi P. F.** (1973) – Interpretazione geodinamica delle registrazioni clinografiche ottenute presso la diga di Pontesei, *Annali di Geofisica*, XXVI, 3

**Caloi P., Biagi P. F.** (1974) – Sulla stratificazione della zona di transizione tra mantello e nucleo, *Rendiconti della classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*, serie VIII, LVI, 1

**Biagi P. F., Corbo G., Spadea M.C.** (1974) – Evoluzione dei fenomeni sismici nell'Appennino Centrale, *Annali di Geofisica*, XXVII, 539

**Biagi P. F., Corbo G.** (1975) – L'interno della Terra con particolare riguardo alla zona di transizione tra mantello e nucleo, *Rivista Italiana di Geofisica e Scienze Affini*, II, 151

**Biagi P. F., Caloi P., Migani M., Spadea M.C.** (1976) – Tilt variations and seismicity that preceded the strong Friuli earthquake of May 6th, 1976, *Annali di Geofisica*, XXIX, 137

**Biagi P. F., D'Angelo M.** (1977) – Comportamento geodinamico della diga del Vajont immediatamente prima della grande frana, *Rivista Italiana di Geofisica e Scienze Affini*, IV, 19

**Biagi P. F.** (1977) – Alcune esperienze geofisiche a Lipari e Stromboli (Isole Eolie), *Rivista Italiana di Geofisica e Scienze Affini*, IV, 185

- Biagi P. F., D'Angelo M.** (1977) – Studio sperimentale delle vibrazioni indotte dal traffico pesante sul ponte Risorgimento in Roma, *Geologia Tecnica*, 1, 5
- Biagi P. F., D'Angelo M.** (1978) – Interpretazione teorica delle vibrazioni indotte dal traffico pesante sulle strutture del ponte Risorgimento in Roma, *Geologia Tecnica*, 2, 5
- Biagi P. F.** (1978) – Oscillazioni libere in uno sperone di gesso nell'Abruzzo Teatino, *Geologia Tecnica*, 1, 49
- Bellotti P., Biagi P. F., Valeri P.** (1978) – Meccanica della sedimentazione nel cilindro di sedimentazione e nella pipetta di Andreasen. Confronto teorico e sperimentale, *Geologia Tecnica*, 2, 53
- Angelucci A., Befani G., Biagi P. F. et al.** (1978) – Geological framework of Tanam, Wusta and Isratu in the Dahlak Islands (Southern Red Sea), *Geologica Romana*, XVII, 345
- Altieri A., Bellotti P., Biagi P. F., Valeri P.** (1978) – La sedimentazione nell'aria delle particelle respirabili: studio delle traiettorie durante i prelievi, *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita'*, XIV, 3
- Alessio M., Biagi P. F.** (1978) – Phenomenologic aspects of seismicity in Latium, *Annali di Geofisica*, XXXI, 277
- Biagi P. F., Console R., Della Monica G., Iuzzolini P., Lazzi M., Piccone Italiano A., Piro S.** (1979) – La sismicità nella zona di Nocera Umbra nel periodo Maggio-Luglio 1979, *Annali di Geofisica*, XXXII, 231
- Biagi P. F.** (1979) – On time-distance curves for Pn waves in the Friuli earthquake occurred on May 6, 1976, *Annali di Geofisica*, XXXII, 27
- Biagi P. F., Piro S.** (1980) – About the focal mechanism of the Friuli earthquake occurred on May 6, 1976, *Nuovo Cimento*, 3C, 142
- Alessio M., Allegri L., Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Impronta S.** (1980) – Study of some precursory phenomena for the Umbria earthquake of September 19, 1979, *Nuovo Cimento*, 3C, 589
- Biagi P. F., Lazzi M., Sciarratta S.** (1981) – Sulle onde canalizzate, *Giornale di Fisica*, XXII, 255
- Biagi P. F., Ermini A., Spadea M. C.** (1981) – About deterioration in the abutment rocks of some large dams in Northern Italy, *Annali di Geofisica*, XXXIV, 37
- Bellotti P., Biagi P. F., Piro S., Valeri P.** (1981) – Le variazioni di inclinazione dell'ala destra del Tevere nel periodo Gennaio 1979 - Giugno 1980, *Geologia Tecnica*, 4, 5

**Altieri A., Biagi P. F., Cecchetti G., Piro S.** (1981) – Studio teorico sulla sedimentazione in aria delle fibre di asbesto, *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita'*, 17, 363

**Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1981) – Variation in the relationship of seismic velocities before two earthquakes in Umbria (Italy), *Nuovo Cimento*, 4C, 576

**Alessandrini B., Biagi P. F., Caputo M.** (1981) – Long period channel waves from records of Friuli (Italy) earthquakes in 1976, *Annali di Geofisica*, XXXIV, 225

**Biagi P. F., Della Monica G., Ferrini V., Piccone Italiano A.** (1981) – Rilievi geomagnetici e geopetrografici nell'area di affioramento della piroclastite di Raiano (Conca Peligna, L'Aquila, Abruzzo), *Periodico di Mineralogia*, L, 257

**Alessio M., Allegri L., Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Improta S., Sgrigna V.** (1981) – Anomalie in alcuni parametri osservate prima dei terremoti dell'Umbria (19.9.79) e dell'Irpinia (23.11.80). Interpretazione di esse come fenomeni precursori, *Atti del I Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 3-5 Novembre 1981*

**Allegri L., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Improta S., Sgrigna V.** (1983) – Radon and tilt anomalies detected before the Irpinia (South Italy) earthquake of November 23, 1980 at great distances from the epicenter, *Geophys. Res. Lett.*, 10, 269

**Bella F., Biagi P. F., Sgrigna V.** (1983) – Fenomeni precursori di eventi sismici. Parte I - Rassegna e analisi, *Fisica e Tecnologia*, VI, 147

**Bella F., Biagi P. F., Sgrigna V.** (1983) – Fenomeni precursori di eventi sismici. Parte II - Strumentazione e tecniche di misura, *Fisica e Tecnologia*, VI, 13

**Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1984) – Indagini geoelettriche, *Atti del Convegno "Incontro con la Geologia", Sabaudia, 15 Dicembre 1984*

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1985) – Anomalie inclinografiche rilevate in Italia Centrale tra Febbraio 1981 e Giugno 1983, *Atti del IV Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 29-31 Ottobre 1985*

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Mandjgaladze P., Sgrigna V.** (1985) – Possible propagation of tilt and strain anomalies, *Atti del IV Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 29-31 Ottobre 1985*

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1986) – Anomalie di inclinazione e di resistività elettrica rilevate in Italia Centrale nel periodo Luglio 1983-Gennaio 1986, *Atti del V Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 17-19 Novembre 1986*

**Bella, F., Bella R., Biagi P. F., Ermini A., Sgrigna V.** (1986) – Possible precursory tilts preceding some earthquakes (3.0 M 4.0) occurred in Central Italy between January 1981 and June 1983, *Earthq. Pred. Res.*, 4, 147

**Bella F., Biagi P. F., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V.** (1986) – Possible propagation of tilt and strain anomalies. Velocity and other characteristics, *Earthq. Pred. Res.*, 4, 195

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Ferrini V., Sgrigna V.** (1986) – Geophysical investigations about the carbonatic structure of Monte La Queglia (Abruzzo, Central Italy), *Nuovo Cimento*, 9C, 1021

**Bellotti P., Biagi P. F., Tortora P., Valeri P.** (1987) – Il Delta del Tevere: caratteri morfologici e sedimentologici della piana deltizia, *Giornale di Geologia*, 49/1, 89, 1987

**Bella F., Bella R., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1987) – Tilt measurements and seismicity in Central Italy during a period of about three years, *Tectonophysics*, 139, 333

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1987) – Some possible precursors of the main earthquakes of the Tornimparte (Central Italy) seismic sequence occurred in 1985, *Nuovo Cimento*, 10C, 455

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1987) – Underground monitoring system of electromagnetic emissions, *Nuovo Cimento*, 10C, 495

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1987) – Rivelazione di emissioni elettromagnetiche sotterranee: strumentazione e primi risultati, *Atti del VI Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 14-16 Dicembre 1987*

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1987) – Risultati preliminari di possibili effetti elettromeccanici non lineari in campioni di roccia, *Atti del VI Convegno Annuale del Gruppo nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 14-16 Dicembre 1987*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1987) – Modelli discreti di propagazione di lente deformazioni crustali, *Atti del VI Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma 14-16 Dicembre 1987*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Mandjaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1988) – A model of very slow-moving crustal disturbances of deformation, *Annales Geophysicae, European Geophysical Society, XIII General Assembly, Bologna, 21-25 March 1988*

**Sgrigna V., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Mandjaladze P., Zilpimiani D.** (1988) – Tilt measurements in Central Italy and some

precursory results, *Proc. Int. Conference on mathematical models in earthquake prediction, Tbilisi (USSR), 3-8 October 1988, Fiziki Zemli*

**Biagi P. F., Bella F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1988) – Anomalous electromagnetic emissions revealed in Central Italy in 1987: a questionable correlation with the seismicity, *Proc. Int. Conference on mathematical models in earthquake prediction, Tbilisi (USSR), 3-8 October 1988, Fiziki Zemli*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1988) – Emissioni elettromagnetiche anomale rilevate in Italia Centrale nel 1987, *VII Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 30 Novembre-2 Dicembre 1988*

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., D’Orazio R., Ermini A., Sgrigna V.** (1988) – Un nuovo inclinometro digitale a pendolo orizzontale, *VII Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica delle Terra Solida, Roma, 30 Novembre-2 Dicembre 1988*

**Biagi P. F., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1989) – Laboratory observations of the nonlinearity in electromechanical effects, *Bulletin of the Academy of the Georgian SSR*, 131, 3 (in Russian)

**Bella F., Bella R., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1989) – A digital recording system of electromagnetic emissions, *Nuovo Cimento* 12C, 251

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1989) – A horizontal pendulum tiltmeter with digital recording system, *Nuovo Cimento*, 12C, 799, 1989

**Biagi P. F., Gegechkory T. S., Its E. N., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1989) – Studi di laboratorio sulla propagazione di onde elastiche attraverso l’interfaccia tra due solidi, *VIII Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, Dicembre 1989*

**Biagi P. F., Sgrigna V., Zilpimiani D., Manjgaladze P., Manjavidze J. D.** (1989) – Non linear interaction of low intensity longitudinal and shear waves with non rigid interface of two solids, *Proc. of All Union Seminar, Moscow, 14-16 December 1989*

**Biagi P. F., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1990) – Preliminary laboratory observations of nonlineariry electromechanical effects, *Nuovo Cimento*, 13C, 631

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1990) – Very slow-moving crustal strain disturbances, *Tectonophysics*, 179, 131

**Biagi P. F., Gegechkory T. S., Its E. N., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1990) – Transmission and reflection of Rayleigh waves at a thin low velocity vertical layer: a laboratory and theoretical study, *Pure and Applied Geophysics*, 133, 317

**Biagi P. F., Zilpimiani D. O., Manjgaladze P. V., Mchedlishvili N. B., Sgrigna V., Tvaradze A. O., Chelidze Z. T., Chkuaseli V. S.** (1990) – Universal digital system with a solid-state memory for the monitoring of seismoelectromagnetic and seismoacoustic fields, *Bull. of the Academy of Sciences of the Georgian SSR*, 137, 73, 1990 (in Russian)

**Biagi P. F., Gershenson V. I., Zilpimiani D. O., Manjgaladze P. V., Pokhotelov O. A., Sgrigna V., Celidze Z. T.** (1990) – The influence of the magnetic field on the mechanical properties of ionic crystals under loading, *Solid State Physics*, 32, 2328 (in Russian)

**Bellotti P., Tortora P., Biagi P. F., Della Monica G., Ermini A., Grita F., Sgrigna V., Valeri P.** (1990) – Prospettazione geoelettrica nella piana del Delta del Tevere, *Boll. Soc. Geol. It.*, 109, 249

**Areshidze G., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Chkuaseli V., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Melikadze G., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1990) – Abnormal behaviour of some parameters revealed in the Georgian SSR before the Armenia earthquake of December 7, 1988: a preliminary report, *Nuovo Cimento*, 13C, 617

**Biagi P. F., Bayraktutan S. M., Manjavidze J. D., Manjgaladze P. V., Sgrigna V., Zilpimiani D. O.** (1990) – Effect of boundary slip on propagation of S-waves, *Academy of Sciences of Georgia Institute of Geophysics, Tbilisi*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1990) – Anomalous low- velocity propagation of strain disturbances in a discrete medium, *Academy of Sciences of Georgia Institute of Geophysics, Tbilisi*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1990) – Seismogenesis and low crustal velocities in the Apennines, *Rend.Fis.Acc.Lincei*, 1, 253-275

**Biagi P. F., Manjavidze J. D., Manjgaladze P. V., Sgrigna V., Zilpimiani D. O.** (1990) – Propagation of shear waves across a non-rigid contact of two solid media, *Acta Geophysica Polonica*, 38, n.4

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1990) – Confronto tra cataloghi di terremoti italiani, *Geografia*, anno XIII, n.4, Ottobre-Dicembre 1990

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1990) – Risultati preliminari delle correlazioni tra le variazioni anomale di inclinazione del suolo e l'attività sismica in Italia Centrale nel periodo 1986- 1989, *IX Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma*, 13-15 Novembre 1990

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1990) – Emissioni elettromagnetiche e segnali sismoacustici rilevati nella grotta Amare (Gran

Sasso - L'Aquila), *IX Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 13-15 Novembre 1990*

**Biagi P. F., Ferrini V., Rossi A., Santeddu B.** (1991) – Indagini geofisiche e minero-petrografiche preliminari sulla vulcanoclastite di Carapelle Calvisio (L'Aquila-Abruzzo), *Quaternario*, 4, 411-418

**Biagi P. F., Zilpimiani D. O., Manjavidze I. D., Manjgaladze P. V., Sgrigna V.** (1991) – Non linear interaction of low intensity longitudinal waves with a nonrigid boundary of two media, *Physical Principles of seismic method "Non traditional Geophysics"*, Moscow Nauka, 1991, A. V. Nicolaev Ed.

**Bella, F., Biagi P. F., Sgrigna V.** (1991) – Fenomeni precursori di eventi sismici, in *Percorsi di Fisica* a cura di G.Cortini, La Nuova Italia, Scandicci (Firenze)

**Areshidze G., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Chkuaseli V., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1991) – Primi risultati su anomalie rilevate in occasione del terremoto del Caucaso del 29/4/91, *X Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, 6-8 Novembre 1991*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1992) – Anomalie inclinometriche e attività sismica nell'Appennino Centrale, *XI Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma 9-11 Dicembre 1992*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1992) – Anomalie elettromagnetiche, sismoacustiche e di livello di acqua rilevate nella Grotta Amare (Gran Sasso, L'Aquila) in occasione di due terremoti locali, *XI Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma 9-11 Dicembre 1992*

**Areshidze G., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1992) – Some precursors of earthquakes observed in Central Italy and in Soviet Georgia, in *Earthquake Prediction*, 345-377, cura di M.Dragoni e E.Boschi, Il Cigno, Roma

**Bella F., Biagi P. F., Della Monica G., Zilpimiani D., Manjgaladze P., Pokhotelov O., Sgrigna V., Ermini A., Liperovsky V.** (1992) – Monitoring of natural electromagnetic emissions during moderate seismicity in Central Italy, *Fizika Zemli*, 112-119

**Areshidze, G., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Chkuaseli V., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Melikadze G., Sgrigna V., Slavina L., Zilpimiani D.** (1992) – Anomalies in geophysical and geochemical parameters revealed in the occasion of the Paravani (M=5.6) and Spitak (M=6.9) earthquakes (Caucasus), *Tectonophysics*, 202, 23-41

**Areshidze G., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Melikadze G., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1992) – No preseismic evidence from hydrogeochemical parameters on the occasion of the April 29, 1991, Georgian earthquake, Caucasus, *Tectonophysics*, 213, 353-358

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1992) – On the migration of precursors of strong earthquakes, *Terra Nova*, 4, 418-423

**Areshidze G., Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1993) – Anomalies in geophysical and geochemical paramters revealed on the occasion of the Spitak (M=6.9) earthquake, *Proceedings of the Scientific Meeting on the seismic protection, Venezia, 12-13 Luglio 1993*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1993) – Sismicità e variazioni di elio durante sei anni di osservazione nel Caucaso, *Atti del XII Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma 24-26 Novembre 1993*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Sgrigna V.** (1993) – Ground tilt variations detected in the Central Apennines (Italy) in the period 1986-1989 and their correlation with the seismicity, *Nuovo Cimento* 16C, 303-311

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., G. Della Monica, Ermini A., Sgrigna V.** (1993) – Ground tilt anomalies accompanying the main earthquakes occurred in the Central Apennines (Italy) during the period 1986-1989, *Nuovo Cimento*, 16C, 393-406

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Reseda S., Sgrigna V.** (1994) – Misure di inclinazione del suolo e possibili creep asismici in faglia, precursori dei principali terremoti avvenuti nell'Appennino centrale e nel Caucaso meridionale, *Atti dei Convegni Lincei 122 (Convegno: Terremoti in Italia), Roma 1-2 Dicembre 1994*

**Bella F., Bella R., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Pettinelli E., Sgrigna V.** (1994) – An automatic equipment to monitor groundwater radon, *Pure and Applied Geophysics*, 141, 125-137

**Bella F., Bella R., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1994) – Artificial and natural electromagnetic signals revealed during two years in the Amare cave (Central Italy), *Annali di Geofisica*, XXXVII, 41-46

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1994) – Electromagnetic background and preseismic anomalies recorded in the Amare cave (Central Italy), in *Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction, TERRAPUB, Tokyo 1994*

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1995) – Possible creep-related tilt precursors obtained in the Central Apennines (Italy) and in the Southern Caucasus (Georgia), *Pure and Applied Geophysics*, 144, 1036-1060

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1995) – Electromagnetic and seismoacoustic signals revealed in karst caves (Central Italy), *Nuovo Cimento* 18C, 19-32

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1995) – Helium content in thermal waters in the Caucasus from 1985 to 1991 and correlations with the seismic activity, *Tectonophysics*, 246, 263-278

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1996) – Normal and anomalous behaviour of electric, magnetic and seismoacoustic signals recorded in the Amare cave, *Annali di Geofisica*, XXXIX, 97-100

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1997) – Helium content in the Caucasus as earthquake precursor, *Proceedings of the Third International Conference Rare Gas Geochemistry*, in "Rare Gas Geochemistry-Applications in Earth & Environmental Sciences", pp.158-166, Guru Nanak Dev University, Amritsar 1997

**Liperovsky V. A., Biagi P. F., Liperovskaya E.V., Senchenkov S. A., Popov K.V., Silina A.S.** (1997) – On the ionospheric and electromagnetic precursors of earthquake, *International Symposium "Earthquake Prediction and Deep Geodynamics"* November 17-21, 1997, Almaty

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1998) – Field strength variations of LF radiowaves prior to earthquakes in Central Italy, *Phys. Earth Planet. Int.*, 105, 279-286

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1998) – Aquifer-induced seismicity in the Central Apennines (Italy), *Pageoph*, 153, 179-194

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Cozzi E., Della Monica G., Ermini A., Gordeev E. I., Khatvevich Y. M., Martinelli G., Scandone R., Plastino W., Sgrigna V., Zilpimiani D.** (1998) – Hydrogeochemical anomalies in Kamchatka (Russia), *Physics and Chemistry of the Earth*, 23, 921-925

**Bella F., Biagi P. F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Plastino W., Sgrigna V.** (1998) – Anomalies in different parameters related to the M = 3.9 Gran Sasso earthquake (1992), *Physics and Chemistry of the Earth*, 23, 959-963

**Biagi P. F.** (1998) – Seismic effect on LF radiowaves, *Terra Scientific Publishing Company, Tokyo*

**Khatkevich Y.M., Gordeev E. I., Biagi P. F., Bella F., Scandone R., Cozzi E., Ermini A., Kingsley S. P., Anderson C. W., Derlien P. J.** (1999) – Groundwater Argon content on the occasion of strong earthquakes in a seismogenetic area of Kamchatka (Russia), *Il Nuovo Cimento C*, 22, 503-508

**Biagi P. F., Bella F., Cozzi E., Ermini A., Martinelli G., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I., Zilpimiani D.** (1999) – Groundwater Helium content related to the Spitak (Armenia) and Karymsky (Russia) earthquakes, *Il Nuovo Cimento C*, 22, 399-405

**Kingsley S. P., Anderson C. W., Biagi P. F., Derlien P. J., Ermini A., Gordeev E. I., Khatkevich Y. M.** (1999) – Analysis of Argon concentration anomalies in underground water in Kamchatka (Russia), *Il Nuovo Cimento C*, 22, 407-413

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2000) – Possible precursors in groundwater ions and gases in Kamchatka (Russia), *Physics and Chemistry of the Earth*, 25, 3, 295-305

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2000) – Groundwater ion content precursors of strong earthquakes in Kamchatka (Russia), *Pure and Applied Geophysics*, 157, 1359-1377

**Biagi P. F., Ermini A., Cozzi E., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2000) – Hydrogeochemical precursors in Kamchatka (Russia) related to the strongest earthquakes in 1988-1997, *Natural Hazards*, 21, 261-274

**Fukumoto Y., Hayakawa M., Biagi P. F.** (2001) – Seismic effect on the propagation of subionospheric LF radio waves in Italy, *J. Atm. Electr.*, 21, 1, 1-7

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P., Khatkevich Y.M., Gordeev E. I.** (2001) – Difficulties with interpreting changes in groundwater gas content as earthquake precursors in Kamchatka (Russia), *Journal of Seismology*, 5, 487 – 497

**Kingsley S. P., Biagi P. F., Piccolo R., Capozzi V., Ermini A., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2001) – Hydrogeochemical precursors of strong earthquakes: a realistic possibility in Kamchatka, *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, 769-774

**Biagi P. F., Piccolo R., Ermini A., Fujinawa Y., Kingsley S. P., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2001) – Hydrogeochemical precursors of strong earthquakes in Kamchatka: further analysis, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, 9-14

**Biagi P. F., Piccolo R., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Hayakawa M., Capozzi V., Kingsley S. P.** (2001) – Possible earthquake precursors revealed by LF radio signals, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, 99-104

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P.** (2001) – Disturbances in LF radiosignals and the Umbria-Marche (Italy) seismic sequence in 1997-1998, *Physics and Chemistry of the Earth*, 755-759, 26

**Biagi P. F., Piccolo R., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Hayakawa M., Kingsley S. P.** (2001) – Disturbances in LF radio-signals as seismic precursors, *Annali di Geofisica*, 44, 5/6

**Biagi P. F., Ermini A., Kingsley S. P., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2001) – Groudwater gas content and seismicity in Kamchatka (Russia) during 1988-1998, *in*

*Rare Gas Geochemistry, Proceedings of the 5th International Conference, Debrecen, Hungary, 71-80*

**Perna G., Capozzi V., Plantamura M.C., Minafra A., Biagi P. F., Orlando S., Marotta V., Giardini A.** (2002) – Structural and optical properties of pulsed laser-deposited ZnSe films, *Applied Surface Science*, 186, 521-526

**Biagi P. F., Hayakawa M.** (2002) – Possible premonitory behaviour of LF radiowaves on the occasion of the Slovenia earthquakes ( $M= 5.2-6.0-5.1$ ) occurred on March-May 1998, in *Seismo Electromagnetics* (Ed. Hayakawa M. and O.Molchanov), TERRAPUB, Tokyo

**Biagi P. F., Ermini A., Piccolo R., Loiacono D., Kingsley S. P.** (2002) – Electromagnetic signals related to micromovements of limestone blocks: a test in karst caves of Central Italy, in *Seismo Electromagnetics* (Ed. Hayakawa M. and O.Molchanov), TERRAPUB, Tokyo

**Perna G., Capozzi V., Plantamura M.C., Minafra A., Biagi P. F., Pallata M., Orlando S., Marotta M., Giardini A.** (2003) – Structural and optical properties of ZnSe films deposited on crystalline Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrate by laser ablation technique, *Applied Surface Science*, 208-209, 582-588

**Biagi P. F., Piccolo R., Capozzi V., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C.** (2003) – Exalting in atmospheric tides as earthquake precursor, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 197-201

**Biagi P. F., Molchanov O., Piccolo R., Minafra A., Ermini A., Capozzi V., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2003) – Co-postseismic hydrogeochemical anomalies in a volcanic environment, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 263-267

**Biagi P. F., Piccolo R., Minafra A., Maggipinto T., Castellana L., Molchanov O., Ermini A., Capozzi V., Perna G., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2004) – Retrospective analysis for detecting seismic precursors in groundwater argon content, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 9-15

**Biagi P. F., Piccolo R., Castellana L., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Capozzi V., Perna G., Molchanov O., Hayakawa M.** (2004) – Variations in a LF radio signal on the occasion of the recent seismic and volcanic activity in Southern Italy, *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 551-557

**Popov K.V., Liperovsky V. A., Meister C. V., Biagi P. F., Liperovskaya E. V., Silina A. V.** (2004) – On ionospheric precursors of earthquakes in scales of 2-3 h, *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 529-535

**Biagi P. F., Piccolo R., Castellana L., Maggipinto T., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Perna G., Capozzi V., Molchanov O., Hayakawa M., Ohta K.** (2004) – VLF-LF radio signals collected at Bari (South Italy): a preliminary analysis on signal

anomalies associated with earthquakes, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 685-689

**Biagi P. F., Castellana L., Piccolo R., Minafra A., Maggipinto G., Ermini A., Capozzi V., Perna G., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2004) – Disturbances in groundwater chemical parameters related to seismic and volcanic activity in Kamchatka (Russia), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 535-539

**Molchanov O., Fedorov E., Schekoton A., Gordeev E., Chebrov V., Surkov V., Rozhnoi A., Andreevsky S., Iudin D., Yunga S., Lutikov A., Hayakawa M., Biagi P. F.** (2004) – Lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling as governing mechanism for preseismic short-term events in atmosphere and ionosphere, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 757-767

**Perna G., Gallone A., Capozzi V., Biagi P. F., Fratello A., Guida G., Zanna P., Argenzio E., Cicero R.** (2005) – Optical Spectra of Melanin Films Extracted from Rana Esculenta L., *Physica Scripta*, T118, 89-92

**Capozzi V., Perna G., Gallone A., Biagi P. F., Carmone P., Fratello A., Guida G., Zanna P., Cicero R.** (2005) – Raman and optical spectroscopy of eumelanin films, *Journal of Molecular Structure*, 744 -747, 717-721

**Rozhnoi A., Solovieva M. S., Molchanov O. A., Hayakawa M., Maekawa S., Biagi P. F.** (2005) – Anomalies of LF signal during seismic activity in November-December 2004, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 657-660

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Piccolo R., Minafra A., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Perna G., Capozzi V., Molchanov O. A., Hayakawa M.** (2005) – A possible preseismic anomaly in the ground wave of a radio broadcasting (216 kHz) during July-August 1998 (Italy), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 727-732

**Capozzi V., Perna G., Carmone P., Gallone A., M. Lastella, E. Mezzenga, G. Quartucci, M. Ambrico, Augelli V., Biagi P. F., T. Ligonzo, Minafra A., Schiavulli L., M. Pallara, Cicero R.** (2006) – Optical and photoelectronic properties of melanin, *Thin Solid Films*, 511-512, 362-366

**Rozhnoi A., Solovieva M. S., Molchanov O. A., Hayakawa M., Maekawa S., Biagi P. F.** (2006) – Sensitivity of LF signal to global ionosphere and atmosphere perturbations in the network of stations, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 409-415

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Piccolo R., Minafra A., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Perna G., Capozzi V., Molchanov O. A., Hayakawa M.** (2006) – LF radio anomalies revealed in Italy by the wavelet analysis: Possible preseismic effects during 1997-1998, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 403-408

**Rozhnoi A., Solovieva M. S., Molchanov O. A., Chebrov V., Voropaev V., Hayakawa M., Maekawa S., Biagi P. F.** (2006) – Preseismic anomaly of LF signal on

the wave path Japan-Kamchatka during November-December 2004, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 422-427

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Ermini A., Perna G., Capozzi V.** (2006) – Electric field strength analysis of 216 and 270 kHz broadcast signals recorded during 9 years, *Radio Sci.*, 41, RS4013, doi:10.1029/2005RS003296

**Molchanov O., Rozhnoi A., Solovieva M., Akentieva O., Berthelier J. J., Parrot M., Lefevre F., Biagi P. F., Castellana L., Hayakawa M.** (2006) – Global diagnostic of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio-signals collected on the DEMETER satellite, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 745-753

**Biagi P. F., Castellana L., Minafra A., Maggipinto G., Maggipinto T., Ermini A., Molchanov O. A., Khatkevich Y. M., Gordeev E. I.** (2006) – Groundwater chemical anomalies connected with the Kamchatka earthquake ( $M=7.1$ ) on March 1992, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 853-859

**Lastella M., Lasalvia M., Perna G., Biagi P. F., Capozzi V.** (2007) – Atomic force microscopy study on human keratinocytes treated with  $HgCl_2$ , *Journal of Physics, Conference Series*, 61, 920-925

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Maggipinto G., Minafra A., Ermini A., Perna G., Capozzi V., Solovieva M., Rozhnoi A., Molchanov O. A., Hayakawa M.** (2007) – Decrease in the electric intensity of VLF/LF radio signals and possible connections, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 423-430

**Pulinets S. A., Biagi P. F., Tramutoli V., Legen'ka A. D., Depuev V. K.** (2007) – Irpinia earthquake 23 November 1980 – Lesson from Nature reviled by joint data analysis, *Annals of Geophysics*, 50, 1, 61-78

**Rozhnoi A., Molchanov O., Solovieva M., Gladyshev V., Akentieva O., Berthelier J. J., Parrot M., Lefevre F., Hayakawa M., Castellana L., Biagi P. F.** (2007) – Possible seismo-ionosphere perturbations revealed by VLF signals collected on ground and on a satellite, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 617-624

**Rozhnoi A., Solovieva M., Molchanov O., Biagi P. F., Hayakawa M.** (2007) – Observation evidences of Atmospheric Gravity Waves induced by seismic activity from analysis of subionospheric LF signal spectra, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 625-628

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Loiacono D., Augelli V., Schiavulli L., Ermini A., Capozzi V., Solovieva M. S., Rozhnoi A., Molchanov O. A., Hayakawa M.** (2008) – Disturbances in a VLF radio signal prior the  $M=4.7$  offshore Anzio (central Italy) earthquake on August 22, 2005, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1041-1048

**Rozhnoi A., Solovieva M., Molchanov O., Akentieva O., Berthelier J. J., Parrot M., Biagi P. F., Hayakawa M.** (2008) – Statistical correlation of spectral broadening in VLF

transmitter signal and low-frequency ionospheric turbulence from observation on DEMETER satellite, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1105-1111

**Castellana L., Biagi P. F.** (2008) – Detection of hydrogeochemical seismic disturbances by a statistical learning analysis, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1207-1216

**Liperovskaya E.V., Biagi P. F., Meister C. V., Rodkin M. V.** (2008) – foF2 seismo-ionospheric effect analysis: actual data and numerical simulation, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1387-1393

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Ermini A.** (2008) – An overview on preseismic anomalies in LF radio signals revealed in Italy by wavelet analysis, *Annals of Geophysics*, 51, 237-246

**Perna G., Frassanito M. C., Palazzo G., Garrone A., Maliardi A., Biagi P. F., Capozzi V.** (2009) – Fluorescence spectroscopy of synthetic melanin in solution, *J. Lumin.* (2008), doi:10.1016/j.lumin.2008.07.014, *Journal of Luminescence*, 129, 44-49

**Liperovskaya E. V., Bogdanov V. V., Biagi P. F., Meister C. V., Liperovsky V. A., Rodkin M. V.** (2009) – Day-time variations of foF2 connected to strong earthquakes *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 53-59

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Maggipinto G., Minafra A., Ermini A., Molchanov O., Rozhnoi A., Solovieva M., Hayakawa M.** (2009) – Anomalies in VLF radio signals related to the seismicity during Novembre-December 2004: a comparison of ground and satellite results, *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 456-463

**Ligonzo T., Ambrico M., Augelli V., Perna G., Schiavulli L., Tamma M. A., Biagi P. F., Minafra A., Capozzi V.** (2009) – Electrical and optical properties of natural and syntetic melanin biopolymer, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 355, 1221-1226

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Maggipinto G., Ligonzo T., Schiavulli L., Loiacono D., Lasalvia M., Perna G., Capozzi V.** (2009) – A reverberation chambre to investigate the possible effects of “in vivo” exposure of rats to 1.8 GHz electromagnetic fields: a preliminary study, *PIER*, 94, 133-152

**Perna G., Lasalvia M., Castro A., Mezzenga E., L'Abbate N., Biagi P. F., Capozzi V.** (2009) – Detection of pesticide effects in human keratinocytes by means of Raman microspectroscopy, *Applied Physics Letters*, 95, 083701.1-083701.3

**Biagi P. F., Castellana L., Maggipinto T., Loiacono D., Schiavulli L., Ligonzo T., Fiore M., Suciu E., Ermini A.** (2009) – A preseismic anomaly revealed in the area where the Abruzzo earthquake ( $M=6.3$ ) occurred on 6 April 2009, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1551-1556



**Centre scientifique et technique  
Service risques naturels et sécurité du stockage du CO<sub>2</sub>**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34