

RESEAU SISMALP

Julien Fréchet & François Thouvenot

Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique
Observatoire de Grenoble

Introduction

Formant une partie de la limite entre les plaques tectoniques européenne et africaine, les Alpes françaises sont soumises à un régime continu de sismicité qui, bien que généralement modéré, n'en reste pas moins dangereux tous les deux ou trois ans (dégâts immobiliers) et catastrophique au moins une fois par siècle (Fig. 1). L'ensemble de la région était cependant très peu instrumenté jusqu'en 1988 – beaucoup moins en tout cas que les versants italien et suisse –, ce qui rendait difficile une estimation du risque sismique. Pour mieux surveiller une sismicité qui apparaissait répartie de façon très diffuse sur plus de 70.000 km², il fallait pouvoir déployer un réseau le plus dense possible, avec une distance entre stations de l'ordre de 30 à 50 km. La maintenance d'un tel réseau de plusieurs dizaines de stations était difficilement envisageable sur le plan financier avec les solutions techniques existant à l'époque. La coopération entretenue entre l'Observatoire de Grenoble et le LEAS (St-Ismier–Grenoble) pour développer de nouveaux types d'appareillage nous a permis de disposer de balises sismologiques connectées au réseau téléphonique commuté (réseau téléphonique ordinaire), avec le triple avantage d'un coût d'acquisition peu élevé, d'un coût de fonctionnement extrêmement réduit, et d'une maintenance sur site ne nécessitant que des interventions annuelles.

Le projet SISMALP, lancé en 1987 dans le cadre de l'Opération Isère Département Pilote pour les Risques Majeurs, visait donc à l'établissement d'un réseau de plusieurs dizaines de ces balises réparties sur l'ensemble du sud-est de la France, du lac Léman à la Corse. Le but premier était de surveiller la sismicité régionale, mais le réseau devait aussi permettre une meilleure estimation du risque sismique. Mieux comprendre la sismotectonique régionale et mieux connaître la structure profonde de la lithosphère alpine en étaient aussi deux retombées attendues. La constitution d'une banque de données homogène devait également permettre des études de recherche fondamentale sur la source sismique. Pour un investissement total d'un million et demi de francs, SISMALP a bénéficié d'un multifinancement du Conseil Général de l'Isère (29%), de l'Institut National des Sciences de l'Univers (23%), de la Délégation aux Risques Majeurs (25%) et du contrat de plan Etat–Région Rhône-Alpes (22%).

Principe de fonctionnement

C'est sur la base d'un prototype conçu par G. Poupinet dès 1982 et testé sur le terrain en quatre sites pilotes de 1984 à 1988 que les balises sismologiques téléphoniques qui équipent le réseau SISMALP ont été développées par le LEAS à partir de 1986. Chaque balise acquiert un signal sismique délivré par un sismomètre vertical (1 Hz). Un microprocesseur scrute en continu le signal

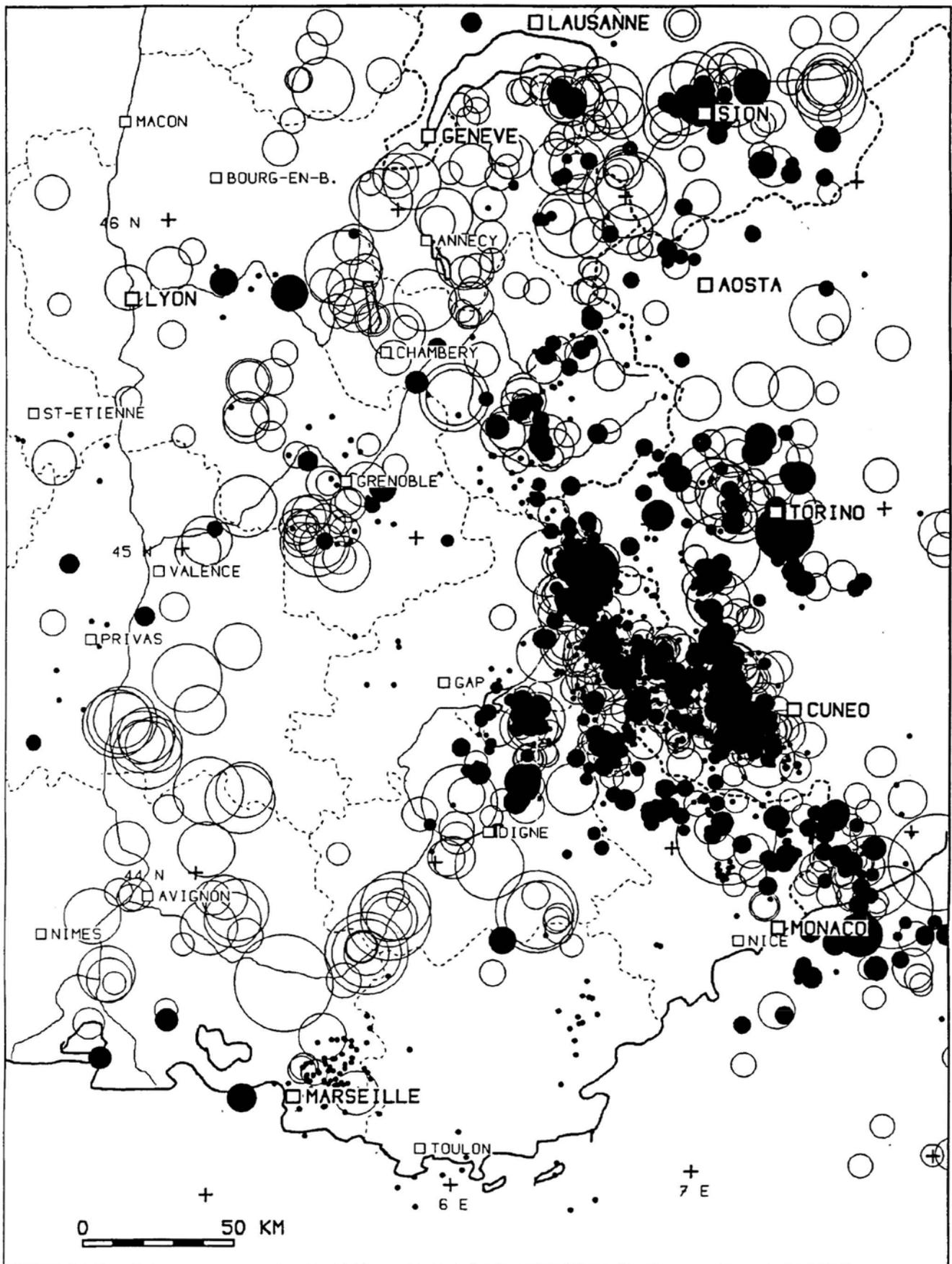


Fig. 1 – Sismicité du sud-est de la France. Symboles ouverts pour la sismicité historique (1500–1988); symboles pleins pour la sismicité enregistrée par le réseau SISMALP (1989–1993).

numérisé, et, dès qu'un critère de détection est atteint, stocke le signal correspondant en mémoire (Fig. 2). Bien que cette mémoire soit réduite, ce qui n'autorise que le stockage de 6 détections de 40 secondes, une détection postérieure peut être néanmoins stockée si son amplitude est suffisamment importante. La balise est alimentée par deux batteries qui lui garantissent une autonomie de 18 mois environ. Une fois par nuit, chaque balise est interrogée automatiquement par téléphone depuis une station centrale localisée à l'Observatoire de Grenoble. La ligne téléphonique n'est utilisée que pendant l'interrogation, soit quelques minutes par jour et par balise. Le réseau SISMALP comprend actuellement 44 balises (Fig. 3), ce qui en fait l'un des réseaux les plus denses d'Europe. Etalée sur 6 ans de 1988 à 1993 – un peu plus que nos estimations initiales –, la phase d'installation a nécessité des recherches de sites souvent délicates, mais qui nous garantissent maintenant des signaux de bonne qualité.

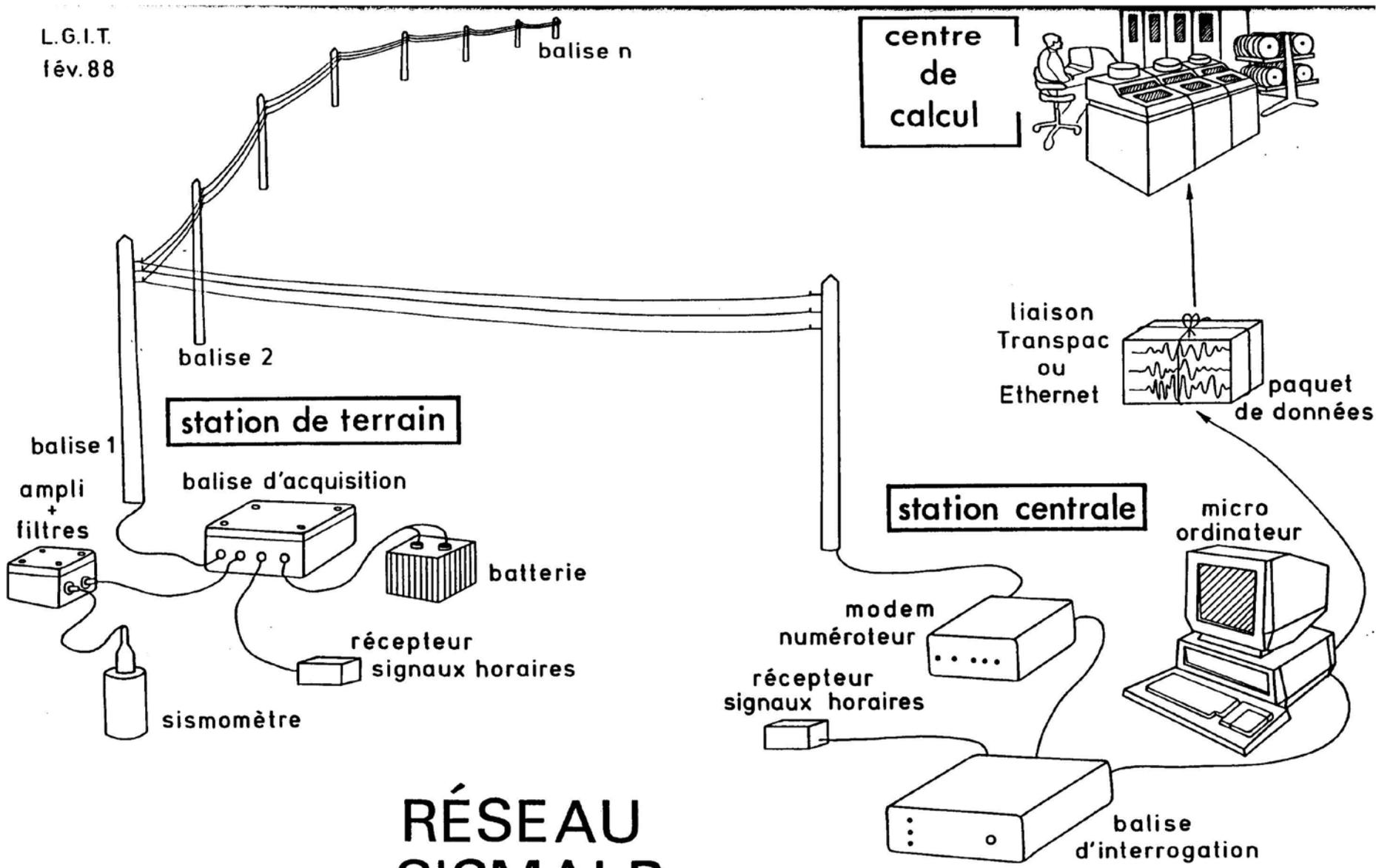
Pour garder au système d'acquisition une complète automaticité, des logiciels spécifiques ont été développés, tant pour la partie communication que pour la gestion du matériel sur le terrain, ou pour l'exploitation des données. Tous ces logiciels ont été développés sur micro-ordinateur, un peu à contre-courant de la tendance actuelle qui déporte ce type d'applications sur des stations de travail. Ce choix volontairement minimaliste permet cependant une diffusion beaucoup plus importante de ces logiciels. L'une des fonctionnalités du logiciel de traitement des données est la possibilité de localiser très rapidement tout séisme local, ainsi que d'en calculer sa magnitude. Les télé-séismes (séismes lointains) sont également enregistrés s'ils atteignent une magnitude suffisante ; ils peuvent être localisés – du moins approximativement – en utilisant le même logiciel.

Bien que SISMALP ne soit pas un réseau d'alerte, nous nous efforçons dans la mesure du possible de répondre au besoin d'information lorsque survient un séisme (autorités civiles et militaires, médias). Tout séisme dont la magnitude dépasse 2,5 fait l'objet d'un avis de localisation (Fig. 4). Un dispositif d'alerte à domicile, particulièrement efficace le week-end, nous permet également d'être avertis de toute secousse d'amplitude anormale. Un logiciel de télémaintenance par Minitel permet d'examiner à distance la base de données.

Principaux résultats

En adjoignant aux données du réseau SISMALP celles du réseau de Gênes (Italie) qui comporte une douzaine de stations, nous sommes maintenant en mesure de localiser les hypocentres des séismes régionaux avec une *précision* de l'ordre du kilomètre si le séisme s'est produit à l'intérieur du réseau et si sa magnitude est supérieure à 2. Nous estimons par ailleurs que tout séisme de magnitude supérieure à 1 survenant dans le réseau peut être détecté et localisé. On améliore donc considérablement la précision des localisations, avec la possibilité de détecter des événements de très faible magnitude. Deux à trois événements sont ainsi localisés chaque jour.

La carte de la figure 1 montre quelques unes de ces localisations pour la période 1989–1993 (symboles noirs). On y remarque la différence d'activité sismique entre les zones proches de la frontière franco-italienne et les zones plus externes (c'est-à-dire plus à l'ouest). Grâce à la précision des localisations, certains alignements commencent également à apparaître, ce qui nous conforte dans l'idée qu'une cartographie des failles sismiques actives est désormais possible. Le principal problème que nous ayons rencontré à ce niveau est la pollution de notre base de données par les très nombreux tirs de carrière (vallée du Rhône, Grenoble, Bugey, Toulon, Draguignan, Nice) et les séismes induits par l'exploitation des mines de Gardanne (Bouches-du-Rhône). Une procédure a été



L.G.I.T.
fév. 88

Fig. 2 - Réseau SISMALP: schéma de principe.

RÉSEAU SISMALP

Etude et Surveillance de la Sismicité Alpine par balises

mise au point pour identifier maintenant de façon très sûre un certain nombre de sources connues. Un tel travail est indispensable pour pouvoir fournir une carte reflétant strictement la sismicité naturelle.

Des études de détail ont été faites – sous la forme de publications – sur certaines crises sismiques qui se sont produites ces trois dernières années. La première de ces études concerne la crise sismique qui a affecté la haute vallée de l'*Ubaye* (Alpes-de-Haute-Provence) en janvier 1989. Cette crise s'est déroulée en l'espace de quatre à cinq jours, avec plusieurs centaines de microsecousses, dont une demi-douzaine ont atteint la magnitude 2,5 à 3. Ces événements plus importants ont été bien enregistrés par les stations du réseau SISMALP dont les premières stations venaient à l'époque d'être installées. L'étude de la forme d'onde des différents sismogrammes enregistrés montre que les différents foyers sont en fait situés à moins de 100 m les uns des autres (la zone active est pratiquement ponctuelle).

Deux séismes de magnitude 4,5 et 4,2 se sont produits au large de *Monaco* en décembre 1989 et avril 1990, séismes largement ressentis par la population tout le long de la Côte d'Azur et de la Riviera italienne. L'étude de leurs mécanismes au foyer indique, dans les deux cas, que les contraintes tectoniques qui leur ont donné naissance correspondent à une compression. Ce résultat est tout particulièrement intéressant dans cette région qui se situe en bordure du bassin liguro-provençal où l'on s'attendrait plutôt à de l'extension ; il remet en question un certain nombre de concepts géodynamiques dans cette région de la Méditerranée.

Enfin, les fortes secousses qui ont ébranlé la région de *Briançon* en février 1991 (choc principal de magnitude 4,7 suivi, deux jours plus tard, par deux répliques de magnitudes 3,6 et 3,8) ont été très rapidement l'objet d'un travail de détail. L'étude des mécanismes au foyer montre cette fois-ci que la faille qui a joué a fonctionné en coulissage, avec un déplacement du domaine piémontais par rapport au domaine briançonnais.

Les valeurs de *magnitude locale* calculées par SISMALP (magnitude M_L) ont été comparées, pour un certain nombre d'événements, avec celles obtenues par le Laboratoire de Détection Géophysique (L.D.G.) du C.E.A. qui gère un réseau de surveillance nationale. Si les valeurs semblent assez comparables pour les séismes de magnitude supérieure à 4, les magnitudes calculées par SISMALP sont en revanche nettement plus faibles que celles du L.D.G. pour les magnitudes inférieures à 4. La différence peut atteindre, voire dépasser 1, ce qui est considérable puisque cela correspond à une amplitude 10 fois moins forte. La compréhension de l'origine de cette surestimation, qui a été également constatée par d'autres organismes, a des implications importantes pour le risque sismique et doit faire l'objet d'une étude exhaustive. Pour la magnitude des télé-séismes (magnitude m_b), nos calculs sont en accord avec ceux des organismes internationaux, à 0,2 près.

L'importante densité de stations du réseau SISMALP permet maintenant d'utiliser les télé-séismes pour sonder la lithosphère alpine. Lorsqu'on se trouve à grande distance de l'épicentre, les rais sismiques atteignent en effet les stations en traversant la lithosphère pratiquement verticalement, et les hétérogénéités rencontrées induisent des différences de temps de propagation. L'analyse de ces différences permet de procéder à une *tomographie* des Alpes jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur. Une étude préliminaire montre l'existence d'une ancienne zone de subduction, avec un plongement de la plaque européenne sous la plaque adriatique. Des études plus complètes sont en cours avec nos collègues suisses et italiens.

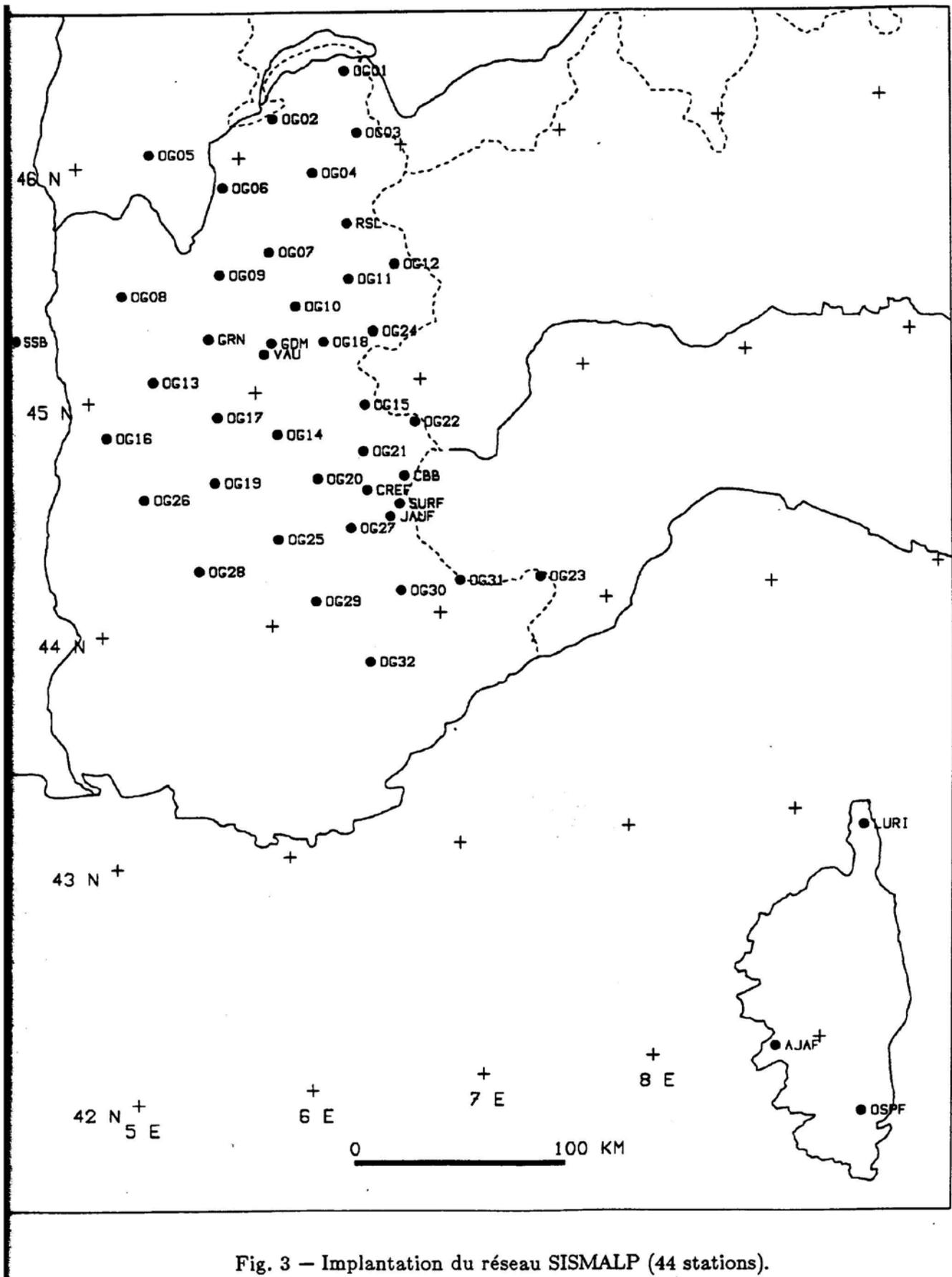


Fig. 3 – Implantation du réseau SISMALP (44 stations).

Impact scientifique et pédagogique

Une coopération de longue date avec nos collègues de Gênes et de Barcelone s'est trouvée renforcée lorsque ceux-ci ont fait l'acquisition, à partir de 1989, de plusieurs balises téléphoniques et d'une station centrale d'interrogation. Le même matériel est également utilisé par plusieurs organismes à Monaco, Nice, Clermont-Ferrand et Strasbourg. Par ailleurs, depuis 1991, dans un but de surveillance de l'activité sismique induite, neuf sites proches des champs d'exploitation de gaz naturel de Lacq sont instrumentés avec des balises téléphoniques interrogées depuis l'Observatoire de Grenoble (réseau SISLACQ, J.-R. Grasso). Les logiciels développés à Grenoble sont également utilisés par de nombreux collègues en France et à l'étranger (Europe, Russie, Chine, Indonésie, Philippines, Amérique Latine).

Des contacts suivis avec des collègues de l'enseignement secondaire nous ont convaincus que notre logiciel de traitement de données présentait un intérêt pédagogique pour les collèges et lycées, étant donné la place qui est faite aux phénomènes sismiques en classes de quatrième et de première. Une version éducation a donc été développée, distribuée sous licence mixte par les éditions LOGEDIC : SISMOLOG donne accès à une base de données réduite qui permet d'analyser quelques séismes locaux et quelques télé-séismes, ainsi que d'explorer la sismicité mondiale en se déplaçant sur un planisphère. Enfin, tout au long de ces dernières années, SISMALP a participé activement, par le biais d'expositions et de démonstrations de longue durée (Grenoble et Chamonix), à une meilleure information du public sur le risque sismique.

Perspectives

Dans sa configuration actuelle, le réseau SISMALP permet une surveillance précise de la sismicité du sud-est de la France. Outre le rôle d'information lors de séismes ressentis, il permet l'établissement de cartes sismotectoniques qui pourront être améliorées au fur et à mesure de l'acquisition des nouvelles données. Un certain nombre d'études ne peuvent pas être correctement effectuées avec le matériel actuel du fait de la faible capacité d'acquisition, de la faible dynamique, de la précision en temps encore insuffisante (quelques millisecondes), et du fait que les stations n'enregistrent que la composante verticale du mouvement du sol. Pour pallier ces limitations, le LEAS vient d'achever le développement d'une balise beaucoup plus performante (trois composantes, grande dynamique, 20 fois plus de capacité, vitesse de transmission multipliée par 10) qui sera prochainement installée en quelques sites (financement du Contrat de Plan Etat-Région 1993). Sur le plan européen, le programme InterReg – en collaboration avec nos collègues de Gênes – doit également permettre de financer quelques nouveaux points de mesure équipés de capteurs large bande (au lieu des sismomètres 1 Hz actuels), ce qui donnera accès à tout un nouvel éventail d'études.

Les nombreux séismes qui ont été ressentis dans les Alpes ces dernières années (l'un d'eux, près de Briançon, a occasionné des dégâts immobiliers ; certains étaient situés à proximité immédiate de centrales nucléaires) nous rappellent la vigilance dont nous devons faire preuve vis à vis du risque sismique. L'occurrence d'un séisme catastrophique dans notre région est une certitude, sans que l'on puisse en préciser la date (quelques années ou quelques dizaines d'années). L'étude du risque sismique à l'aide des données sismologiques, géophysiques et géologiques doit être développée, en particulier pour les zones urbaines et les sites industriels à risque. Ce n'est qu'en procédant à une telle analyse détaillée que l'on pourra, à partir de la base de données constituée, forger les techniques conduisant à une éventuelle prédiction.

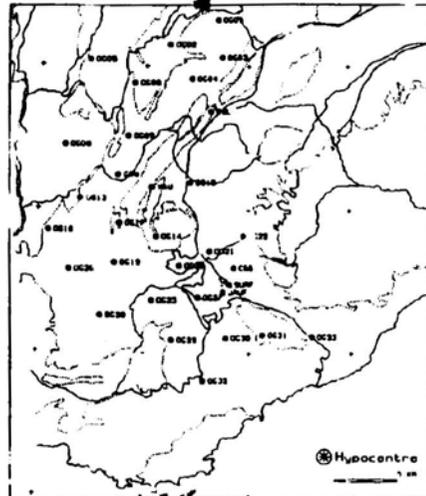
SISMALP, L.G.I.T., Observatoire de Grenoble, I.R.I.G.M., B.P. 53 X, 38041 GRENOBLE CEDEX
Responsables : J. Fréchet et F. Thouvenot - Installation et maintenance : R. Guiguet et L. Jenatton.

RESEAU SISMALP

Localisation préliminaire du séisme survenu
le 5 novembre 1993 à 03:50 TU

Date	Heure	Lat. N	Lon. E	Prof.	Magn.	R.M.S.	ErH	ErZ
05.11.93	03:50:54.52	46°24.44'	06°20.90'	5.90	2,4	.55	1.2	1.2

11 km WNW Thonon les Bains (74)
12 km NNE Douvaine (74)
18 km OUEST Evian les Bains (74)



Code	Dist.	Angle	Heure F	Rés. P	Heure S	Rés. S
OG01	27.1	108	03:50:59.76	.28	64.20	1.25
OG02	29.8	199	03:51:00.09	.20	3.67	.03
OG03	48.0	142	03:51:02.82	-.16	9.02	.12
OG04	55.3	173	03:51:03.85	-.39		
EM5	58.8	130	03:51:05.23	-.37		
OG06	68.4	211	03:51:06.56	-.17		
OG05	79.9	239	03:51:09.12	.41	18.54	.58
RSL	82.7	165	03:51:08.39	-.50		
DDX2	89.1	114	03:51:10.37	-.36		
DIX	89.5	114	03:51:10.48	-.37		
OG07	92.0	190	03:51:10.32	-.07	20.82	-.68
OG09	107.1	202	03:51:12.94	.02	25.48	-.32
OG11	108.0	169	03:51:12.86	-.26		
OG10	117.4	183	03:51:14.37	-.33	28.01	-.81
LSD	122.7	149	03:51:13.15	-.55	29.49	-1.04
MHK	130.9	108	03:51:17.62	.55		
GD4	135.0	188	03:51:17.80	.09	34.84	.90
OG18	135.1	177	03:51:17.30	-.42	35.28	1.33
OG08	137.0	219	03:51:18.30	-.34	34.02	-.35
GRN	137.7	200	03:51:17.84	-.28	34.79	-.15
VAU	140.3	189	03:51:18.10	-.50	34.93	-.51
ORX	153.1	124	03:51:20.87	.13	38.66	-.43
RSP	156.4	153	03:51:21.51	.34	39.48	-.34
APL	157.0	67	03:51:21.58	.40		
OG13	165.7	206	03:51:23.26	.46		
OG13	165.7	206	03:51:00.00		41.32	-.30
OG15	167.9	172	03:51:00.00		43.78	.33
RJL	168.7	168	03:51:23.35	.52		
OG17	172.8	195	03:51:23.00	-.20	43.46	.17
OG17	172.8	195	03:51:00.00		44.76	.01
SSB	188.3	228	03:51:24.09	-.98	47.08	.63
SSB	188.3	228	03:51:26.70	.07		
BLB	189.0	158	03:51:26.00	.87		
ZLA	196.1	52	03:51:25.76	-.31		
TMA	197.3	100	03:51:28.89	.63		
OG16	198.7	209	03:51:00.00		52.08	-.04
OG16	198.7	209	03:51:25.92	-.46	49.56	.86
OG19	203.4	194	03:51:29.77	.55	53.97	.46
OG19	203.4	194	03:51:27.27	-.26		
CB9	205.1	169	03:51:29.55	-.03	54.27	.15
SURF	217.2	170	03:51:30.80	-.80	56.76	-.80
SURF	217.2	170	03:51:28.38	-.46	52.69	-.17
PZZ	219.4	164	03:51:30.58	-.138		
SLE	222.1	47	03:51:28.44	-.85		
COLF	228.9	244	03:51:29.17	-.98	60.17	-.61
COLF	228.9	244	03:51:33.21	-.29		
VDL	238.8	88	03:51:34.86	-.40		
VDLJ	240.3	88	03:51:33.77	-.175		
ENR	256.5	161	03:51:34.92	1.27		
PCP	269.2	140	03:51:34.65	-.54		

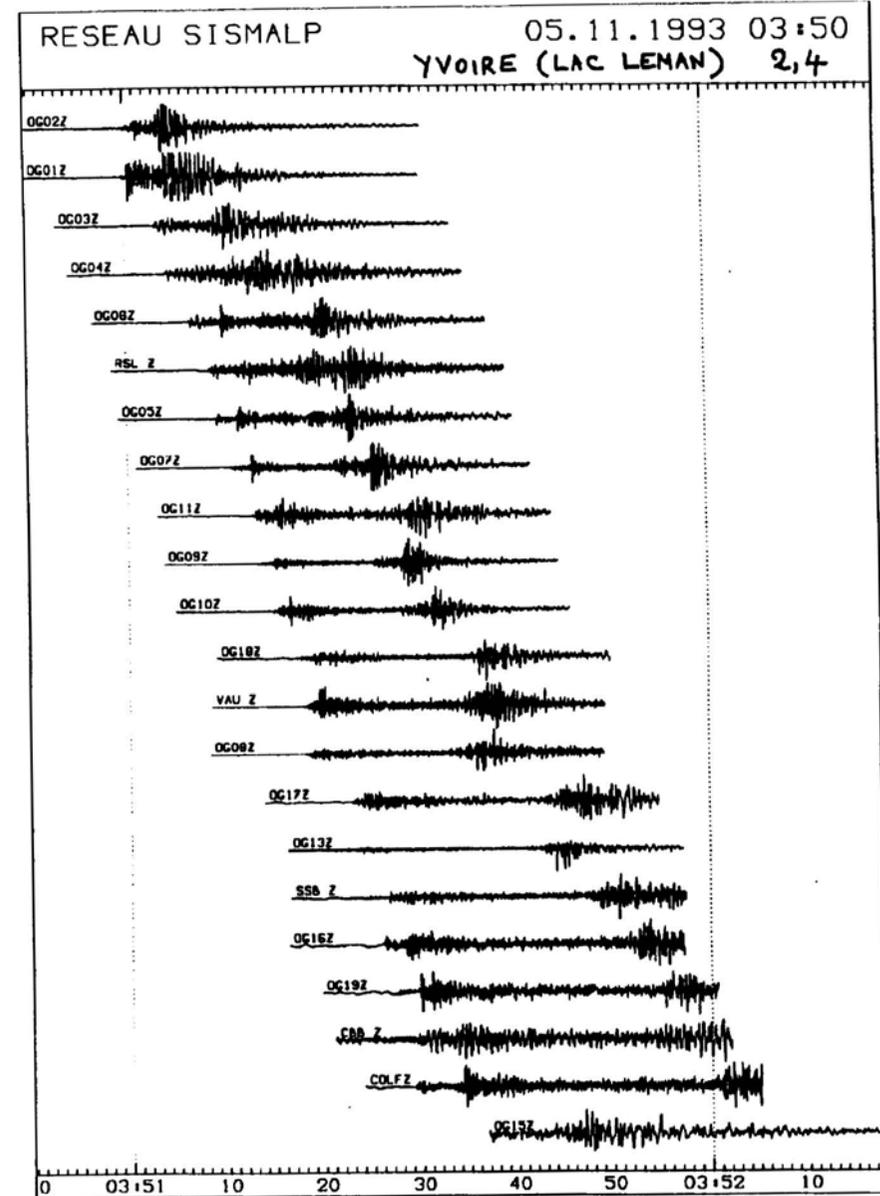


Fig. 4 — Exemple d'avis de localisation édité à la suite d'un séisme s'étant produit le 5 novembre 1993 sous le Lac Léman (magnitude 2,4). En bordure du lac, le séisme a été perçu sous la forme d'une forte explosion.