

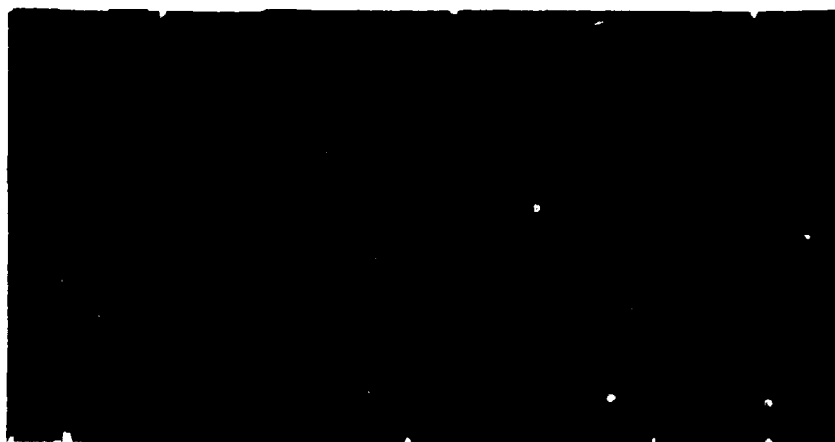
FR 880 2084

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

DEPARTEMENT D'ANALYSE DE SURETE

DAS



RAPPORT DAS N° 455

REDA DAS 455

RESEAU FRANCAIS ET EXPERIENCE ACQUISE
CONCERNANT L'ENREGISTREMENT
DES MOUVEMENTS FORTS.

FERRIEUX H., MOHAMMADIOUN G. *

(Réunion-débat de l'AFPS,
"Les mouvements sismiques pour l'ingénieur",
St Rémy les Chevreuse - 16 mars 1988)

* DAS/BERSSIN

Mars 1988

RESEAU FRANCAIS ET EXPERIENCE ACQUISE CONCERNANT

L'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS FORTS

Henri FERRIEUX* Georgianna MOHAMMADIOUN*

SUMMARY

The network intended to record strong ground motion in continental France is composed for the most part of instrument packages incorporated into nuclear installations, which are supplemented by a certain number of accelerometers placed in the most highly seismic areas. In a country where the level of seismicity is relatively modest, such a network is not conducive to the acquisition of new data, which, instead, is obtained through spot studies of limited duration using more sensitive instruments or through the recording of strong ground motion in neighbouring countries.

1. INTRODUCTION

L'enregistrement des mouvements forts peut avoir pour objet d'étudier les caractéristiques spécifiques des mouvements sismiques en fonction des données sismotectoniques et de la propagation des ondes, ou sous un tout autre aspect de connaître les mouvements qui ont sollicité un ouvrage, une cité... La France métropolitaine est à la fois un pays relativement peu sismique sauf dans les régions alpines et pyrénéennes, et fortement équipé en centrales nucléaires pour lesquelles la réglementation requiert une instrumentation sismique bien définie. Le réseau d'accéléromètres reflète ces caractéristiques.

2. LE RESEAU D'ACCELEROMETRES

2.1. Implantation

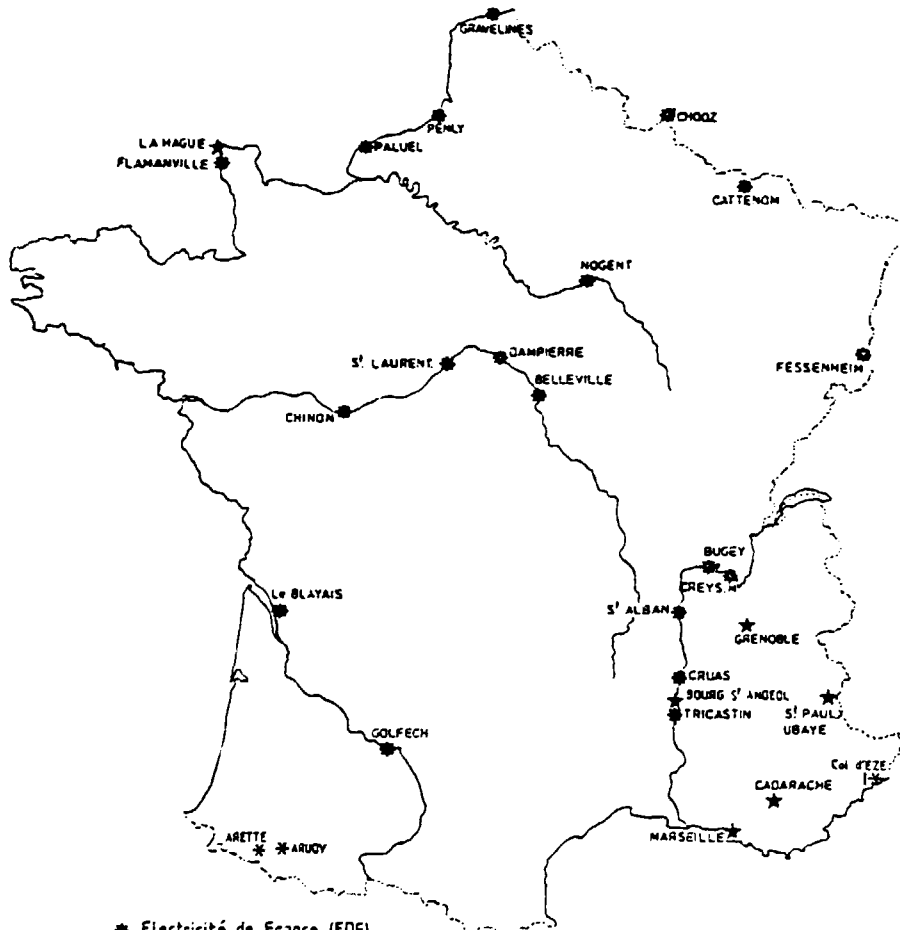
Il constitue une assez bonne couverture géographique à l'échelle nationale, avec toutefois une probable insuffisance de l'instrumentation dans les régions les plus sismiques (Fig.1).

2.2. Nature du site d'implantation

On ne considère ici que l'instrumentation dont les capteurs sont implantés en champ libre c'est-à-dire à même la roche ou sur des radiers prévus à cet effet ou encore aux fondations de bâtiments légers. Le tableau ci-après récapitule les coordonnées des différentes stations, la nature du sol et le type de capteurs utilisé.

* Ingénieurs au Bureau d'Évaluation des Risques Sismiques pour la Sécurité des Installations Nucléaires, CEA/IPSN Fontenay-aux-Roses.

RESEAU D'ACCELEROMETRES



- * Electricité de France (EDF)
- ★ Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)
- * Institut de Physique du Globe de Paris (IPG-P)
- ! Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPG-S)

RESEAU D'ACCELEROMETRES EN FRANCE

LOCALITES	COORDONNEES (degrés et minutes)		NATURE DU SOL		TYPE D'INSTRUMENTATION
* ARETTE	43° 06' N	0° 43' O	Alluvions	(1)	Accéléromètres 30 SUHOSTRAND
* ARUDY	43° 08' N	0° 25' O			" SMA 1
* BELLEVILLE	47° 31' N	2° 52' E	Alluvions	(1)	" 30 SUHOSTRAND
* BLAYAIS	45° 15' N	0° 41' O	Sables	(1)	" SMA 2
* BUGEY	45° 48' N	5° 16' E	Molasses	(2)	" SMA 2
★ CADARACHE	43° 42' N	5° 45' E	Calcaire dur	(2)	" 2 SMA 1 - 1 SMA 2
* CATTENOM	49° 25' N	6° 13' E	Marnes	(2)	" 30 SUHOSTRAND
* CHINON	47° 14' N	0° 10' O	Calcaire	(3)	" SPA 2
* CHOZ	50° 05' N	4° 47' E	Schistes cristallins	(2)	" SMA 2
* CREYS-VALVILLE	45° 45' N	5° 28' E	Sables	(2)	" SMA 2
* CRUAS	44° 38' N	4° 45' E	Calcaire	(3)	" SMA 2
* DAMPIERRE	45° 44' N	2° 31' E	Alluvions hétérogènes	(1)	" SMA 2
! EZE (Col d'Èze)	43° 44' N	7° 21' E	Roche dure	(2)	" BRUEL-KJAER
* FESSENHEIM	47° 55' N	7° 34' E	Alluvions	(1)	" SPA 2
* FLAMANVILLE	49° 12' N	1° 53' O	Granite	(1)	" SPA 2
* GOLFECH	44° 36' N	0° 51' E	Molasses	(2)	" 30 SUHOSTRAND
* GRAVELINES	51° 01' N	2° 08' E	Sables	(1)	" SMA 2
★ GRENOBLE	45° 12' N	5° 42' E	Alluvions = silt	(1)	" SMA 1
★ LA HAGUE	49° 41' N	1° 53' O	Grès-schistes	(2)	" SMA 1
★ MARSEILLE	43° 20' N	5° 25' E	?	(1)	" SMA 1
* NOGENT-SUR-SEINE	48° 31' N	3° 31' E	Alluvions = craye alternées	(1)	" 30 SUHOSTRAND
* PALUEL	49° 51' N	0° 38' E	Grès	(2)	" SMA 2
* PENLY	49° 58' N	1° 13' E	Grès	(1)	" 2 x 30 SUHOSTRAND
★ BOURG ST ANDEOL	44° 22' N	4° 38' E	Marnes	(2)	" SMA 1
* SAINT-ALBAN	45° 24' N	4° 45' E	Alluvions	(1)	" SMA 2
* SAINT-JAURENT	47° 43' N	1° 35' E	Alluvions	(1)	" SMA 2
* TRICASTIN	44° 20' N	4° 44' E	Marnes-Plaisancien	(2)	" SMA 2

- * EDF
- ★ CEA
- * IPG Paris
- ! IPG Strasbourg

Gain
de mesure SMA 1 : 0,01 à 0,5 g
SMA 2 : 0,01 à 1 g
SUHO 3, 31 à 1 g

Nature
des sols

- (1) terrains mous
- (2) terrains moyens
- (3) terrains durs

En ce qui concerne la nature du sol, on a distingué trois cas :

- 1) Poches à faible vitesse de propagation (alluvions non consolidées, sables...)
- 2) Roches intermédiaires (craie, marnes indurées, molasses...)
- 3) Roches à grande vitesse (granite, schistes cristallophylliens, calcaires compacts, grès...).

Cette classification ne peut guère prêter à discussion dans le cas, le plus fréquent, d'un milieu relativement homogène sur une grande épaisseur : alluvions épaisses ou enregistrement au rocher (roches intermédiaires ou roches dures), mais est le résultat de jugement d'experts (1) dans le cas d'une stratigraphie complexe où les caractéristiques mécaniques des différentes couches sont contrastées. La classification pourrait être précisée à la faveur d'études particulières.

2.3. Types d'appareillage

Les capteurs sont des accéléromètres tridirectionnels. Les caractéristiques des chaînes d'enregistrement sont les suivantes :

	SMA-1	SMA-2	SUNDSTRAND
Enregistrement	PHOTO	FM	PCM
Gamme de mesure	0,01 à 0,5g	0,01 à 1g	0,01 à 1g
Bande passante	0 - 25 Hz	0 - 50 Hz	0 - 33 Hz
Traitement	Numérisation manuelle	Numérisation en temps différé	Numérisation en temps réel

L'accéléromètre Bruel et Kjaer situé au col d'Eze est vertical, à seuil de déclenchement réglable, donc plus sensible que les autres. Les accéléromètres tridirectionnels d'Arette sont eux aussi à seuil réglable.

3. EXPERIENCE ACQUISE CONCERNANT L'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS FORTS

3.1. Enregistrements en France

- . Compte tenu de la grande dispersion des stations de mesure et du niveau de déclenchement des accéléromètres installés en France, soit le plus souvent 0,01g, les chances d'enregistrer un séisme à l'aide de ce dispositif sont réduites. De fait, un seul séisme significatif a été enregistré par l'instrumentation des installations nucléaires : le séisme de Sierentz du 15 juillet 1980, dont l'épicentre était situé à 25 km au Sud de la centrale de Fessenheim (2) (3).
- . Quelques événements ont donné lieu à des enregistrements à l'aide de chaînes de mesures CEA/IPSN plus sensibles et ont fait l'objet de calculs de spectres. Citons certaines répliques du séisme d'Oléron du 7 septembre 1972 (mouvements maximaux de l'ordre de 0,01g) (4) et le petit séisme de Grignan du 10 mai 1974 enregistré près de Pierrelatte.

. Citons aussi l'enregistrement par l'IPG de Paris de sêismes de faible magnitude au voisinage d'Arette (Pyrénées).

3.2. Enregistrements effectués hors France

Les accéléromètres installés par le BRGM à la Guadeloupe ont enregistré en quatre stations le mouvement du sêisme du 15 mars 1985 (5).

En dehors du sêisme d'Oléron (1972), le CEA/IPSN a enregistré les plus fortes répliques des sêismes du Frioul en Italie (1976), du Jura Souabe en Allemagne (1978) et d'El Asnam en Algérie (1980).

. Frioul 6 mai 1976 (6)

Les chaînes de mesure à capteurs de vitesse ont enregistré une centaine de répliques (Fig.2), parmi lesquelles celles du 11 et 15 septembre 1976 ont atteint les magnitudes de 5,5, 5,9, 6,1, et 6,0. Le mouvement enregistré le plus fort correspond à une réplique du 11 septembre à 16h35mn à la station de Molinis : 0,25g.

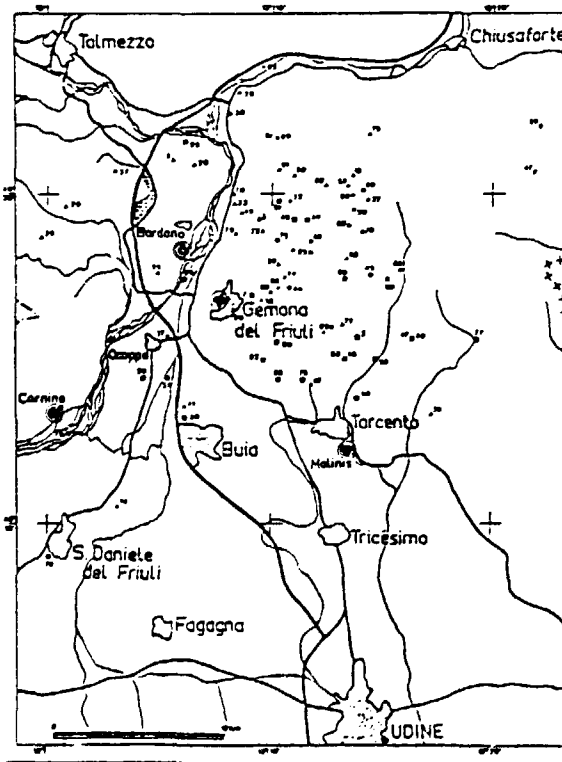


Fig.2. REPARTITION DES EPICENTRES DES SECOUSES ETUDIEES

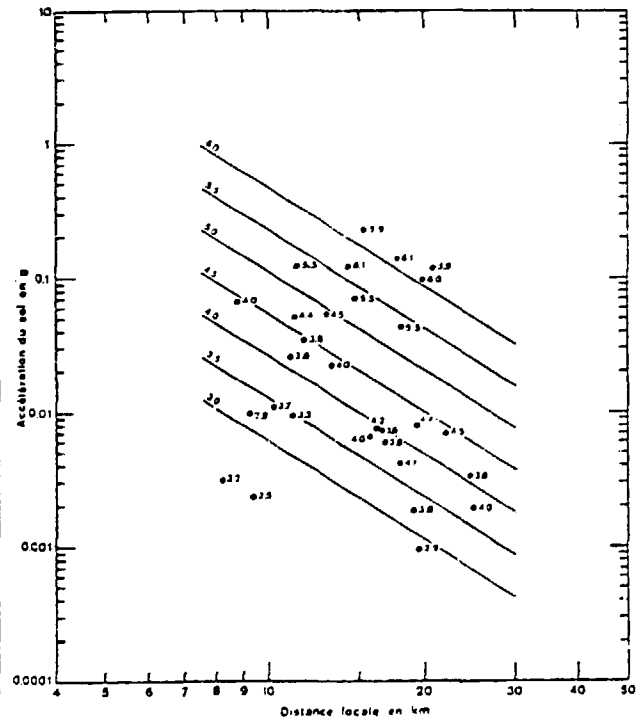


Fig.3 . ATTENUATION DE L'ACCELERATION MAXIMALE DU SOL EN FONCTION DE LA DISTANCE. (COMPOSANTE HORIZONTALE)

On a pu établir des lois moyennes en pics de mouvement (Fig.3) et en spectres, en fonction de la magnitude M et de la distance focale R, en utilisant des corrélations de la forme :

$$A = C 10^{\alpha M} R^n$$

où C, α , n sont des coefficients de corrélation, dépendant de la fréquence dans le cas des spectres.

La comparaison des enregistrements de certaines fortes répliques en différents points permet de mettre en évidence l'influence des conditions stratigraphiques des sites. La figure 4 montre les spectres correspondant à la réplique de 16h35mn du 11 septembre 1976, à Bordano (6 km de l'épicentre, alluvions épaisses du Tagliamento), à Cornino (15 km, roche dure), à Molinis (10 km, stratification complexe).

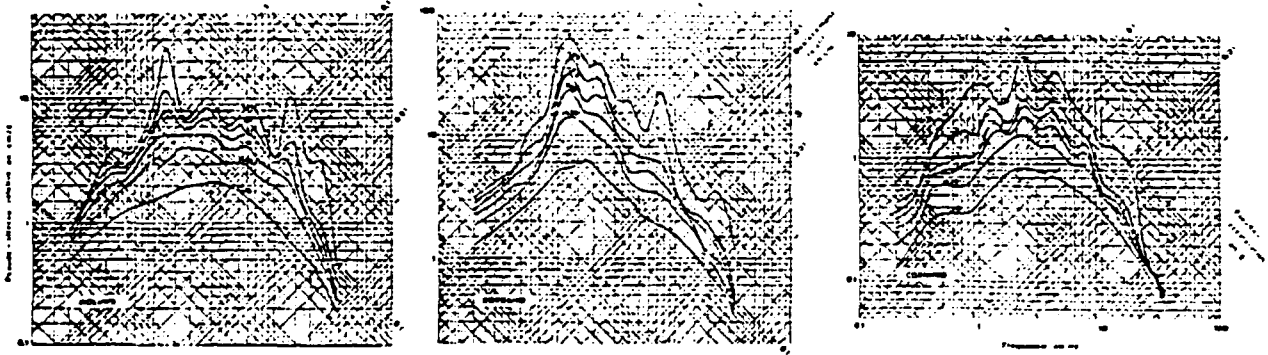


Fig. 4 - FRIOUL - Spectres de réponse (composante N S)
Séisme du 11 septembre 1976, 16 h 31mn

. El Asnam, 10 octobre 1980 (7) (8)

Le séisme d'El Asnam a manifesté des caractéristiques (magnitude $M_S = 7,2$, foyer superficiel) permettant de prévoir des répliques assez typiques des séismes devant être pris en compte en France (mécanismes variés, faible profondeur, magnitudes relativement faibles).

Deux types d'instrumentation sismique ont été disposés à proximité de la zone épacentrale (Fig.5) : une instrumentation des mouvements forts (CEA/IPSN et Institut de Skopje) et une instrumentation pour localiser les foyers des répliques (Instituts de Physique du Globe et Université de Cambridge).

Le CEA/IPSN a enregistré environ 400 répliques parmi lesquelles 23 à l'aide des accéléromètres SMA-1, le plus fort mouvement atteignant 0,2g.

Certaines études spécifiques ont été effectuées :

A l'intérieur de la ville d'El Asnam, plusieurs répliques ont été enregistrées simultanément en champ libre et sur un radier épais de 1,50 m et de dimensions approximatives 50 x 20 m.

La figure 6 représente les spectres au radier et en champ libre des deux composantes horizontales d'une de ces répliques. On observe une coupure très nette des fréquences supérieures à 8-10 Hz, la différence des dimensions du radier ne semblant pas jouer un rôle significatif dans cet effet de filtre cinématique. On rapprochera ce résultat de ceux d'une étude de Lee et Trifunac (9) montrant, sur une série d'enregistrements à Los Angeles, le rôle secondaire des dimensions des fondations, le critère essentiel étant la rigidité.

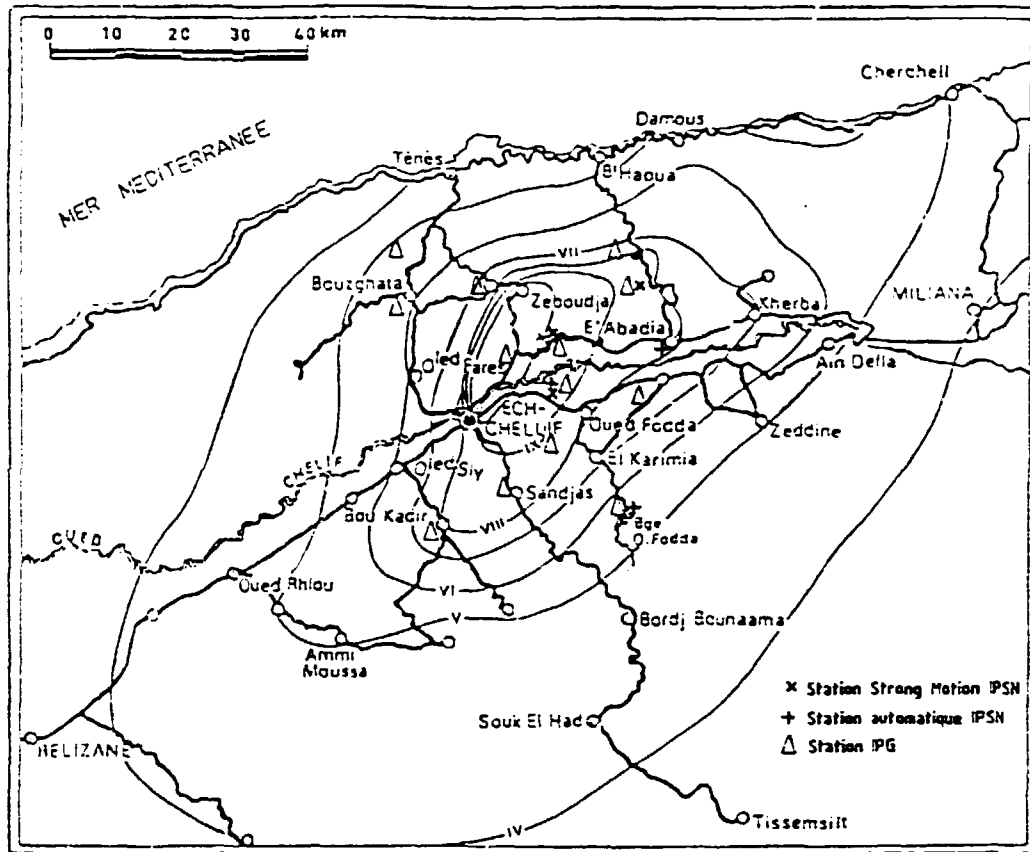


Fig. 5 - Isoséistes du séisme d'EL ASNAM (ECH CHELIFF)
 du 10 octobre 1980
 (D'après OUSMER et AL. Direction Mines et Géologie Algérie)
 - Stations de mesures sismiques

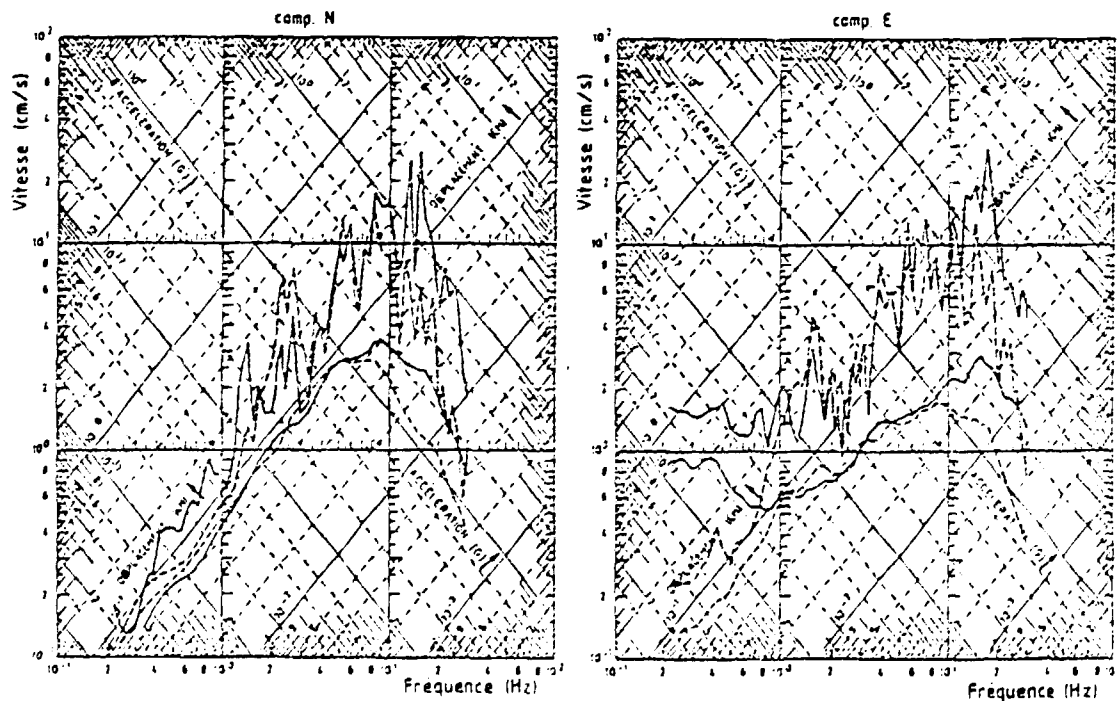


Fig. 6 EL ASNAM — Spectres champ libre Am 0%
 - - - Spectres au radier et 20%

4. CONCLUSION

Le réseau accélérométrique français, de par sa disposition et sa faible sensibilité, joue surtout le rôle de surveillance des grandes installations nucléaires. A l'exception de certaines stations des Alpes et des Pyrénées, il est peu apte à l'acquisition de données nouvelles. Il est donc souhaitable de le développer, notamment dans les régions de forte sismicité, avec des dispositifs fiables de plus grande sensibilité qui commencent à être disponibles.

Des études ponctuelles (mécanismes au foyer, réponses locales du sol) sont parfois entreprises, mais elles nécessitent des dispositifs et des types d'instrumentation rarement installés à long terme (ex. : Clansayes dans la Drôme, Ubaye...).

Les acquisitions des données dans le domaine des mouvements forts ont donc surtout été effectuées, jusqu'à présent, hors de France et les interventions concertées lors de forts séismes doivent être encouragées.

REFERENCES

- (1) P. DUCLOS, J.P. RZEPKA
Communication personnelle, 1988.
- (2) M.D. HAMACEK
"Séisme de Sierentz sur l'îlot nucléaire de Fessenheim, comparaison des enregistrements et des calculs".
Premier colloque national de génie parasismique - 29-31 janvier 1986, St-Rémy-les-Chevreuse.
- (3) H. FERRIEUX, X. GOULA
"Analyse des enregistrements du séisme de Sierentz (15.07.1980) effectués par l'instrumentation sismique de Fessenheim".
Note CEA/IPSN/SAER/82/307, 1982.
- (4) A. BARBREAU, H. FERRIEUX, B. MOHAMMADIOUN
"Etude des séismes récents de la région d'Oléron"
Rapport CEA/DSN/SESR-1, juin 1983.
- (5) P. BERNARD, J. LAMBERT
"L'aléa sismique aux Petites Antilles : nouvelles données de la sismicité historique et instrumentale".
Premier colloque national de génie parasismique - 29-31 janvier 1986, St-Rémy-les-Chevreuse.
- (6) A. BARBREAU, B. MOHAMMADIOUN, H. FERRIEUX, G. MOHAMMADIOUN
"Etude des répliques du 6 mai 1976 au Frioul"
Proceedings of speciality meeting on the 1976 Friuli Earthquake, CNEN, ROMA, 1978.

- (7) E. FAVIER, H. FERRIEUX, X. GOULA, B. MOHAMMADIOUN, G. MOHAMMADIOUN, HELLAL, N. MESSEN, S. OUDAHMAN
"Etude des répliques du séisme du 10 octobre 1980 à El Asnam".
Actes des journées scientifiques sur le séisme d'El Asnam, Alger, 15-16 juin 1981.
- (8) G. MOHAMMADIOUN, X. GOULA, H. FERRIEUX
"Signal Processing and Spectral Analysis of the Aftershocks of the 1980 El Asnam, Algeria, Earthquake. Engineering Application".
Physics of the Earth and Planetary Interiors 38 (1985), Elsevier Science Publishers.
- (9) V.W. LEE, M.D. TRIFUNAC and C.C. FENG
"Effects of Foundation Size on Fourier Spectrum Amplitudes of Earthquake Accelerations Recorded in Buildings".
Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1982, Vol.1 n°2.

DESTINATAIRES**DIFFUSION CEA**

M. le Haut Commissaire
 DSE
 DDS
 IPSN
 IPSN : M. SCHMITT
 IPSN : M. CANDES
 OSSN : M. GUILLEMARD
 DRSN : M. BUSSAC
 DRSN : M. PELCE
 DAS/DIR
 DAS/SASICC
 DERS Cadarache
 SES Cadarache
 SERE Cadarache
 SIES Cadarache
 SESRU Cadarache
 SRSC Valduc
 SEAREL
 DPS/FAR + DPS/DOC : Mme BEAU
 DPT/FAR
 DSMN/FAR
 CDSN/FAR : Mme PENNANEAC'H
 UDIN/VALRHO
 DEDR Saclay
 DRNR Cadarache
 DRE Cadarache
 DER Cadarache
 DMT Saclay
 DMECN/DIR Cadarache
 DRE/STT Grenoble
 DRE/SETH Grenoble
 Service Documentation Saclay : Mme COTTON (3 ex.)
 Service Documentation Cadarache : Mme REY

DIFFUSION HORS CEA

Secrétariat Général du Comité Interministériel de la Sécurité Nucléaire : M. CUREAU
 Conseil Général des Mines : M. DE TORQUAT
 Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires : M. LAVERIE (+ 3 ex.)
 Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires - FAR
 Monsieur le Président du G.P.d. : M. GUILLAUMONT
 Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières : Mlle TISSIER
 FRAMATOME : M. le Directeur Général
 NOVATOME : M. le Directeur Général
 TECHNICATOME : M. le Directeur Général
 TECHNICATOME : Service Documentation
 EDF / L'inspecteur général de sûreté et de sécurité nucléaires : M. TANGUY
 EDF / SEPTEN (2 ex.)
 EDF / SPT
 VIENNA INTERNATIONAL CENTRE LIBRARY : Mrs ROSLYN M. STIRLING
 M. HOHLEFELDER } Bundes Ministerium für UMWELT, NATURSCHUTZ
 M. BREEST } und REAKTORSICHERHEIT - BONN (RFA)
 M. KREWER - Bundes Ministerium für Forschung und Technologie - BONN (RFA)
 M. BIRKHOFER - Gesellschaft für Reaktorsicherheit - KOLN (RFA)
 M. JAHNS - Gesellschaft für Reaktorsicherheit - KOLN (RFA)
 M. HAUBER - U.S.N.R.C. - WASHINGTON (E.U.)
 M. BECKJORD - U.S.N.R.C. - WASHINGTON (E.U.)

M. J.S. MACLEOD - Nuclear Installations Inspectorate - LONDON (G.B.)
M. GONZALES - Consejo de Seguridad Nuclear - MADRID (ESPAGNE)
M. José DE CARLOS - Consejo de Seguridad Nuclear - MADRID (ESPAGNE)
M. C. BORREGO - Département de l'Environnement - Université d'AVEIRO (PORTUGAL)
M. E. HELLSTRAND - STUDSVIK ENERGITEKNIK AB -
Nuclear Division, Safety and System Analysis - NYKOPING (SUEDE)
M. NASCHI - Direttore Centrale della Sicurezza Nucleare e della Protezione Sanitaria -
ENEA - ROMA (ITALIE)
M. P. VANNI - Direttore relazioni esterne e informazione -
ENEA - ROMA (ITALIE)
M. ZHANG YU MAN - National Nuclear Safety Administration (CHINE)
M. MA FUBANG, Director of the Nuclear Electricity Office - MIN (CHINE)
M. Itsuro MISUMI - MITI (JAPON)
M. EIICHI TSUJI - Science & Technology Agency -
Director of the Nuclear Safety Division (JAPON)
M. ICHIHASHI - Science & Technology Agency - Nuclear Safety Division (JAPON)
M. FUKETA - JAERI - Center of Safety Research (JAPON)

M. CHAVARDES (Attaché près de l'Ambassade de France aux Etats-Unis)
M. MORIETTE (Attaché près de l'Ambassade de France au Japon)
M. LALERE (Attaché près de l'ambassade de France en Chine)
M. WUSTNER (Attaché près de l'Ambassade de France en RFA)

COPIE (SANS P.J.)

SRDE
LEFH
BAIN
GCSR
SASR
SACP
SAEP
SGNR
SAREP
SAPN
SASLU
SASLU/VALRHO
SEC
SAET
SAED
STAS
SASC
SAEG
SAM
SPI