

# SISMOLOGIE DE L'INGENIEUR :

## QUE PEUT-ON MESURER ?

### Le réseau national d'accélérographes

Par :

A. BOUDIAF

Attaché de recherche au C.G.S.

#### 1 INTRODUCTION

La mise en place d'un réseau d'accélérographes est l'une des mesures à prendre pour la connaissance, plus ou moins parfaite, du mouvement fort du sol. Les données des mouvements forts du sol sont utilisées par l'ingénieur pour définir le niveau d'accélération à prendre en compte au niveau d'un site ou d'une structure. En général deux types de réseaux complémentaires sont à installer à travers une région donnée ou un pays. Le premier est un réseau en champ libre, c'est à dire que les instruments sont directement installés sur le sol afin d'enregistrer les mouvements forts d'un site donné. Le second, beaucoup plus orienté vers le génie sismique, consiste à instrumenter une structure donnée (bâtiment, barrage, pont, etc ...) et d'analyser son comportement sous sollicitation sismique.

Le réseau en champ libre doit répondre aux questions suivantes :

- détermination d'une relation d'atténuation des ondes sismiques,
- détermination des caractéristiques du mouvement vibratoire du sol près d'une faille active,
- détermination des effets du sol et du rocher en fonction de la référence,
- détermination de la durée de la secousse.

Le réseau sur structure doit répondre, quant à lui, aux questions suivantes :

- détermination du niveau de la charge sismique à prendre en considération pour le calcul dynamique des structures telles que les bâtiments industriels ou à usage d'habitation, les barrages, etc ...,
- mise à l'épreuve des connaissances dans le comportement dynamique des structures.

Contrairement au sismomètre, qui est en permanence à l'écoute de tous les mouvements de la terre, l'accéléromètre ne se déclenche que si le mouvement du sol dépasse le seuil de réglage (1% de la gravité par exemple). Par conséquent les accélérographes ne sont pas continuellement en phase d'enregistrement. Les appareils sont tous équipés de deux accéléromètres horizontaux (Nord-Sud et Est-Ouest) et d'un accéléromètre vertical. L'enregistrement d'un accé-

lérogramme a approximativement la même réponse aux ondes sismiques pour toutes les bandes de fréquences.

Les enregistrements obtenus à partir des accélérographes ou accélérogrammes sont utilisés pour déterminer le pic maximum d'accélération ou PGA, la durée du mouvement pour un seuil de déclenchement donné et le contenu fréquentiel du mouvement ou spectre de réponse. Il est à noter que cette accélération est mesurée en pourcentages de G (gravité) pour les données brutes et en  $\text{cm/s}^2$  pour les données corrigées et filtrées.

#### 2 LE RESEAU NATIONAL D'ACCELEROGRAPHES

Une meilleure connaissance des séismes et du comportement du sol lors d'une secousse tellurique est indispensable pour toute étude ou recherche en matière de réduction du risque sismique, soit au niveau du sol (fonctions d'atténuation, comportement du sol sur site), soit au niveau des structures (bâtiments, barrages, etc ...). Dans ce cadre un réseau comprenant quatre vingt dix (90) accélérographes a été déployé à travers le territoire national par le CTC en 1983 et est actuellement géré et entretenu par le CGS (figure 1).

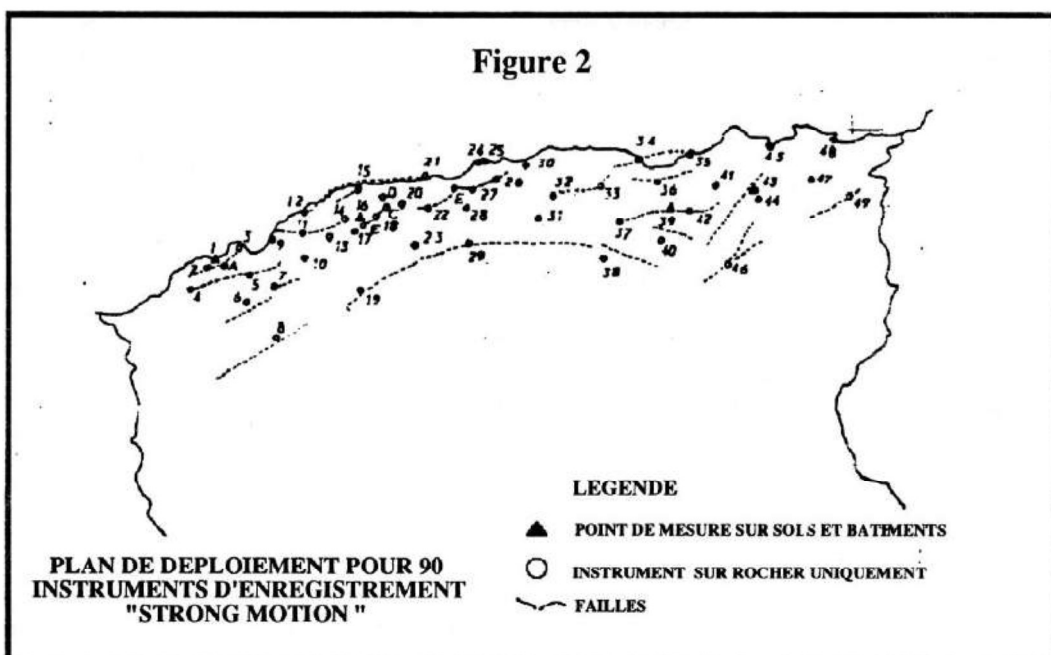
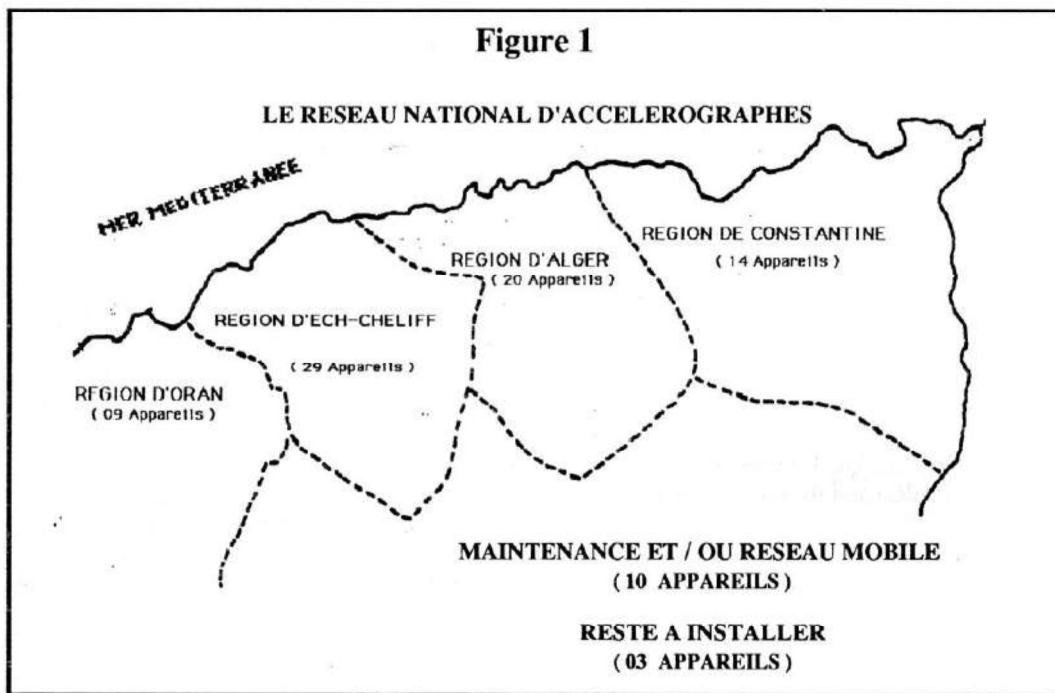
Le souci de déployer un réseau d'accélérographes s'est déjà fait sentir avant le séisme destructeur d'Ech-Cheliff du 10 octobre 1980. Dans une étude menée par l'université de Stanford, le Professeur H. SHAH (1978) a suggéré que des instruments "Strong Motion" (Mouvements forts du sol) soient installés en priorité dans la région d'Ech-Cheliff et d'Alger. Deux années plus tard, soit le 10 octobre 1980 un violent séisme a secoué la région d'Ech-Cheliff. Ce séisme qui a causé de nombreux dégâts matériels et humains, a été reconnu comme étant l'un des plus importants séismes du Nord de l'Algérie. L'inexistence, à l'époque, d'un réseau d'accélérographes n'a pas permis une étude approfondie de cet évènement sismique majeur. Dans sa thèse de graduation à l'Université de Stanford, KHEMICI (1980) a proposé un schéma de développement d'un réseau en utilisant les informations disponibles relatives à la localisation des sources sismiques potentielles en Algérie. Un schéma de déploiement a été établi ultérieurement par un bureau d'étude américain (Woodward-Clyde Consultants) dans le

cadre de l'étude de microzonage sismique de la région d'Ech-Cheliff (1983-1984) (figure 2).

Dans une étude faite dans le cadre du PAMERAR (Programme Arabe pour la Réduction du Risque Sismique) l'UNESCO (1983) a montré l'importance des réseaux locaux et régionaux et présente l'aspect financier et l'organisation requise pour l'exploitation et la maintenance.

## 2.1 Déploiement

Depuis 1980 l'Organisme de Contrôle Technique de la Construction (CTC) ayant été désigné par sa tutelle pour toutes les actions visant à réduire le risque sismique en Algérie, a été chargé d'installer et d'assurer la maintenance du réseau national. A cet effet, quatre vingt dix (90) appareils strong motion type SMA-1 ont été acquis et soixante douze (72) sont à l'heure actuelle opérationnels (Figure 1) et ont permis d'enregistrer les principaux séismes de ces



dix dernières années. En 1987, suite à la restructuration du CTC, le CGS a été chargé de la maintenance de ce réseau, de son exploitation ainsi que de son extension.

La mise en place des appareils dans les différents sites géologiques préalablement choisis a obéi à un impératif de rentabilité maximum dans la collecte des données. Le déploiement a été concentré essentiellement dans le Nord du pays là où les déformations des terrains sont très importantes et là où la sismicité est relativement élevée. Durant cette phase de déploiement, il a été aussi tenu compte de la proximité des plus importants centres urbains et industriels du Nord de l'Algérie.

Au cours de cette phase de déploiement les priorités suivantes ont été respectées :

- installation des appareils dans les zones ayant subies plusieurs séismes dévastateurs (Alger, Oran, Ech-Cheliff, Jijel etc ...),
- installation des instruments à l'intérieur et/ou à proximité des zones à haute densité industrielle ou humaine,
- installation des instruments à une distance inférieure ou égale à 20 km d'une source sismique connue ou potentielle.

## 2.2 Objectifs

Le but initial du réseau, tel qu'établi par le CTC en 1983, était de fournir des enregistrements sismiques pour l'usage en génie civil. Les objectifs fixés pour ce premier déploiement étaient au nombre de six :

- couverture adéquate des séismes importants sur tout le nord du territoire,
- acquisition des données sur les sols dans différents sites et ce, pour les régions instrumentées en champ libre,
- acquisition des données sur les structures de bâtiments en premier lieu, et, structures de barrages et ponts en second lieu ,
- optimisation du fonctionnement du réseau pour une meilleure rentabilité dans la collecte des données,
- analyse des données obtenues pour dériver une fonction d'atténuation pour certaines régions spécifiques ou pour l'ensemble du pays,
- enregistrement des répliques suite à un choc principal et ce, par le déploiement d'un réseau local portable dans une région affectée par un séisme important.

Pour satisfaire pleinement chacun de ces objectifs, il faudrait un nombre plus important d'instruments que les 90 accélérographes déjà acquis.

Actuellement les appareils installés par le CGS sont pour la plupart en champ libre, c'est à dire qu'ils sont appelés à enregistrer les mouvements du sol en cas de séisme. Les structures de bâtiments sont appelées à être instrumentées dans une phase ultérieure. L'Agence Nationale des Barrages et la SONELGAZ possèdent un réseau assez important à travers le territoire et le CGS est chargé d'en assurer la maintenance.

## 2.3 Extension du réseau

Après l'installation et la mise en opération des 90 instruments, une extension du réseau a été envisagée afin d'amé-

liorer la base des données sur les mouvements forts du sol. Le déploiement des cent vingt (120) instruments supplémentaires permettra de mener à bien les actions suivantes :

### 2.3.1 Précision des cartes des sources sismogènes

De plus amples informations sur de nouvelles failles actives et sur d'autres aspects des aléas sismiques permettront d'améliorer substantiellement la précision des cartes existantes sur les sources sismogènes. A mesure que cette somme de connaissances augmente, certaines modifications du réseau initial ou une adjonction de nouvelles stations interviendront afin de mieux cerner les sources sismogènes nouvellement mises à jour comme ce fut le cas pour certaines failles décelées dans la région de Chlef durant l'étude de microzonage.

### 2.3.2 Acquisition des données sur le sol et sur les structures

La couverture des sites et bâtiments lors du déploiement initial doit être complétée par d'autres instruments. Une augmentation de l'instrumentation des bâtiments doit être accompagnée par une augmentation adéquate du nombre d'instruments en champ libre afin de permettre la déconvolution de la réponse de la structure par rapport à une sollicitation connue.

Une augmentation du nombre d'instruments en champ libre permet une meilleure connaissance de la distribution de l'atténuation.

Une couverture adéquate des structures spéciales, telles que les barrages, centrales électriques, structures de transport, doit également être mise en place.

### 2.3.3 Acquisition des données sur les mouvements en source proche

Des réseaux spéciaux d'instruments doivent être envisagés pour les sources probables de séismes futurs. De tels réseaux "laboratoires" qui ont prouvé leur importance dans l'acquisition des données sur les mouvements forts en champ proche sont une source de données très importantes tant pour l'ingénierie que pour la recherche fondamentale.

### 2.3.4 Etude des sources liées à l'Atlas Saharien

Avec l'augmentation du nombre d'instruments disponibles les zones moins actives du point de vue sismique seront couvertes par un certain nombre d'instruments qui seront installés dans les villes les plus importantes de l'intérieur du pays ainsi que sur des sites proches des sources sismogènes liées à l'Atlas Saharien.

## 3 ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES

### 3.1 L'accélérogramme

L'enregistrement type est une trace analogique sur support photographique de 70 mm. La figure 3 représente les principales traces enregistrées lors d'une secousse ou lors de la procédure de maintenance. Ces traces, au nombre de sept (07) pour l'appareil SMA-1 de Kinometrics, se décompo-

sent comme suit (figure 3):

- deux (02) traces fixes de référence,
- trois (03) traces d'accéléromètres dont deux horizontales (Nord-Sud et Est-Ouest) et une verticale,
- deux (02) traces dont l'une est relative au marqueur de temps et l'autre, soit au numéro de série codé soit à l'horloge internationale ou interne.

### 3.2 Procédure d'enregistrement

La figure 4 montre le principe de déclenchement mécanique et d'enregistrement du signal sur support photographique à travers un système optique. La procédure d'enregistrement est déclenchée une fois le seuil de réglage du déclencheur dépassé. Ce déclencheur met en marche la partie mécanique ainsi que le système optique. Les accéléromètres auxquels sont reliés des miroirs vont se déplacer en fonction de l'amplitude du mouvement. Ce déplacement est différent selon la composante principale du mouvement, c'est ainsi que pour certains séismes la composante verticale est plus importante que les composantes horizontales et inversement.

L'enregistrement obtenu subit une procédure d'analyse qui permet de caractériser le mouvement du sol ou de la structure. La secousse est enregistrée selon les trois composantes Nord-Sud, Est-Ouest et verticale correspondant aux trois accéléromètres de l'appareil. Le film de 70 mm est développé et agrandi (en général 4 fois). Le passage de l'enregistrement analogique en digital se fait grâce à une table à digitaliser. Le signal obtenu à ce stade du traitement est un signal brut n'ayant subi aucune correction. Un premier traitement permet d'éviter les erreurs dues à l'opérateur et ce, par la connaissance du filtre passe-bas. Ce filtre d'une manière générale est pris égal à 0,125 Hz ( $T=8s$ ). Le filtre passe-haut est défini par la fréquence propre de l'accéléromètre qui, pour le type d'appareil que nous utilisons est égale à 27 Hz ( $T = 0.37s$ ) en moyenne. Une étape du traitement du signal corrigé consiste à intégrer l'accélérogramme, une première fois pour obtenir la vitesse et une seconde fois pour obtenir le déplacement. Pour une meilleure connaissance du contenu fréquentiel du signal, des spectres sont calculés (spectre de Fourier ou spectre de réponse) qui, pour les ingénieurs, consiste à calculer le spectre de réponse pour cinq valeurs d'amortissement (0, 2, 5, 10 et 20%) (figures 5 et 6).

### 3.3 Exploitation

Depuis sa mise en place en 1983, le réseau d'accélérographes a permis d'enregistrer les chocs principaux des séismes de Constantine (27 octobre 1985) et du Chenoua (29 octobre 1989). Celui d'Ech-Cheliff du 10 octobre 1980 n'a pu être enregistré car antérieur à l'installation du réseau. Les accélérogrammes recueillis au niveau des différentes stations représentent un premier pas dans la constitution d'une banque de données nationale sur les mouvements forts du sol qui permettra :

- de dériver des lois d'atténuation propres au contexte sismotectonique de l'Algérie du Nord,
- de développer à l'échelle locale les études de réponse de site (fonction de transfert de profils de sol) dans le cadre

des études de microzonage sismique,

- d'actualiser les spectres de réponse des Règles Parasismiques Algériennes (RPA),
- de fournir les données de base pour le calcul sismique des structures particulières ne relevant pas du RPA.

## 4 CONCLUSION

Le déploiement du réseau, la mise en service des instruments, l'exploitation et l'interprétation des enregistrements obtenus représentent une étape importante pour un développement poussé dans le génie parasismique et la réduction du risque pouvant affecter l'économie du pays.

La banque de données ainsi obtenue permettra une meilleure compréhension des paramètres qui caractérisent ce mouvement vibratoire. La collecte des mesures de tous les mouvements vibratoires de forte amplitude est une étape essentielle pour le développement d'un programme visant à réduire le risque sismique en Algérie.

Les enregistrements obtenus dans une région donnée seront étalonnés et comparés avec les enregistrements mondiaux similaires. Cette procédure nécessite :

- l'identification et la compréhension des paramètres sismiques qui sont spécifiques au milieu géologique et tectonique donné,
- le développement des relations de prédiction des paramètres du mouvement vibratoire (relation d'atténuation par exemple),
- la mesure et l'analyse du comportement sous sollicitations sismiques des constructions de la région considérée (calcul dynamique des structures au séisme).

## 5 BIBLIOGRAPHIE

HATS. W.W, Basic principles to consider when designing a seismic network. Communication présentée lors de l'atelier de travail sur la sismologie de l'ingénieur : Analyse et interprétation, Alger 15-16 avril 1986.

HUDSON. D.E, Reading and interpreting strong motion accelerograms, Monograph EERI, July 1979.

IZIIS (Skopje, Yougoslavia), Analysis of strong motion records obtained in Algeria, Region of Constantine, December 1985.

IZIIS (Skopje, Yougoslavia), Interprétation des enregistrements du séisme du Chenoua du 29 octobre 1989. Accélérogrammes d'Alger et Cherrhell, novembre 1989.

MORRIL B.J., Guidelines for preparation of strong motion seismographs sites, 1971.

WOODWARD-CLYDE CONSULTANTS, Guideline for 90 instruments Algeria strong motion array, August 1983.

## Typical Strong Motion Earthquake Accelerogram .

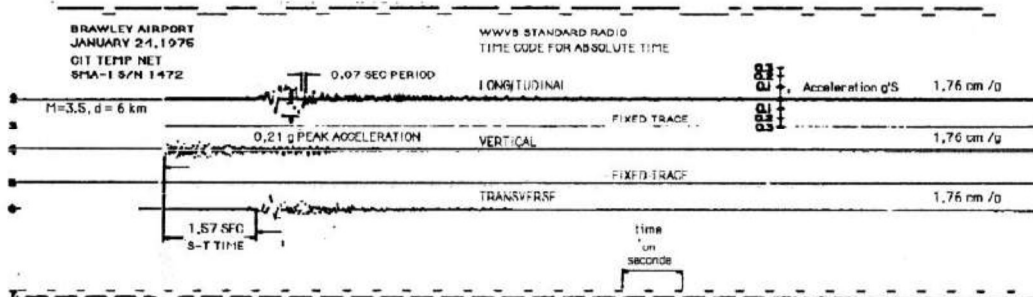


Figure 3

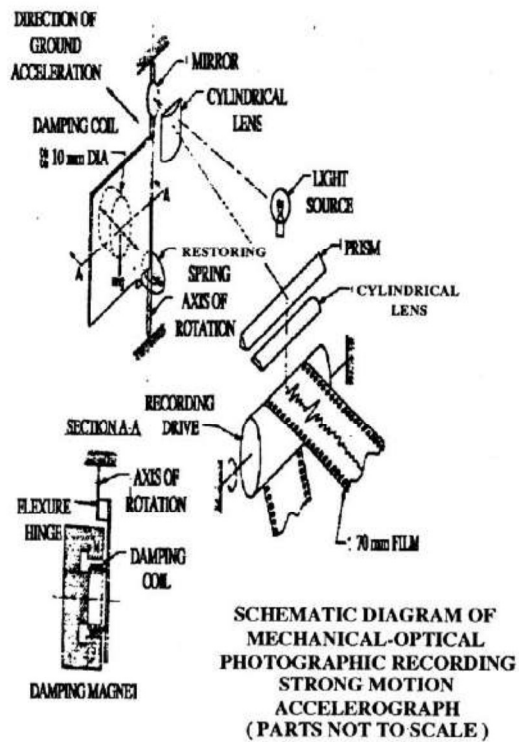


Figure 4

Accélérogramme du séisme du 29.10.80 (Chenoua)  
Composante Nord-Sud

III529 CHERCHELL 1989-10-29, 20-10 COMP N180S  
ACCELEROGRAM IS BAND PASS FILTERED BETWEEN 0.100 - 0.300  
AND 25.00 - 27.00 HZ PEAK VALUES : ACCEL- 283.0 CM/S --2,  
VELOCITY - 13.113 CM/S, DISPL - 1.504CM

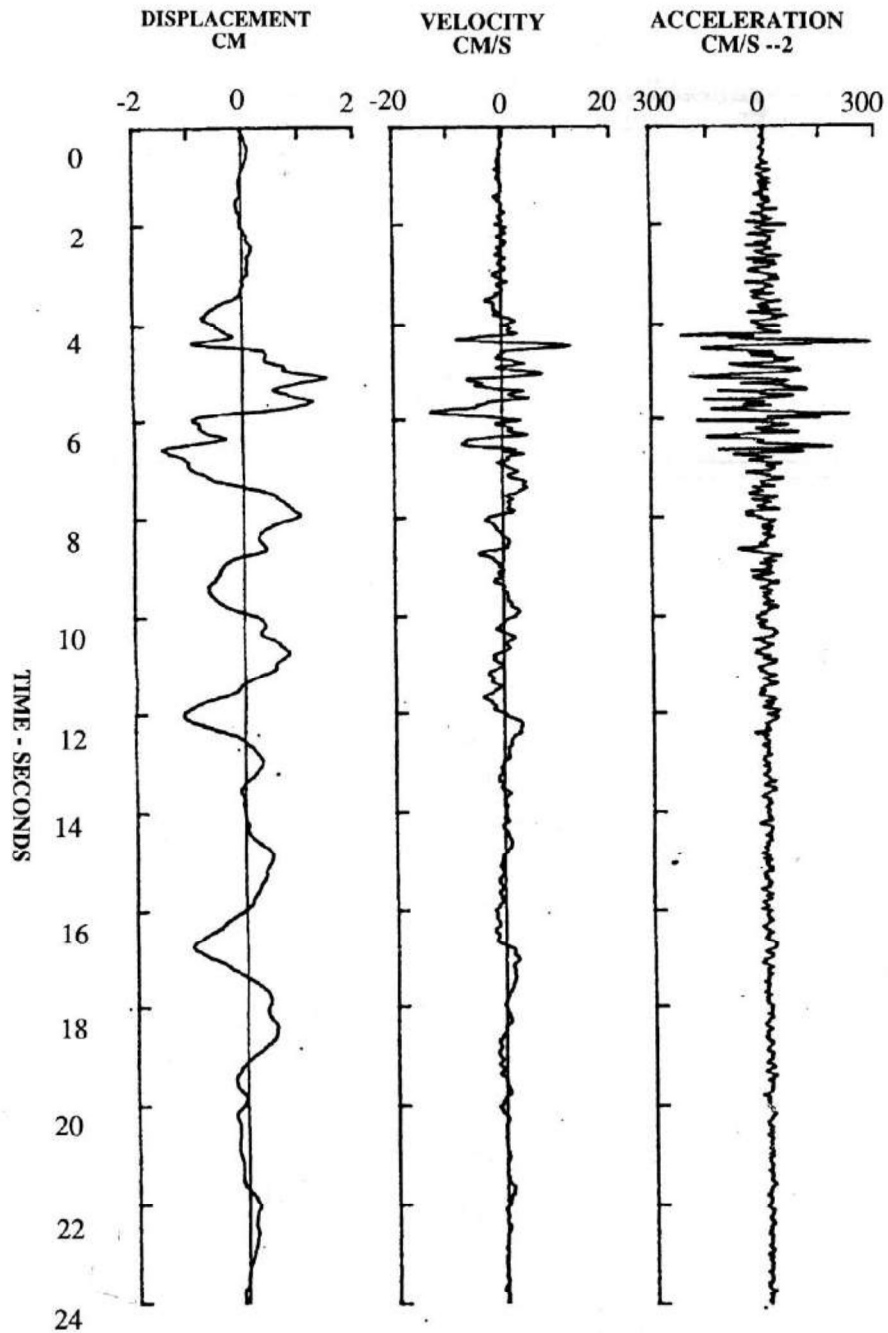


Figure 5

Spectre de réponse du séisme du 29.10.80 ( Chenoua )  
Composante Nord-Sud

RESPONSE SPECTRUM  
IVES29 CHERCHELL 1989-10-29-20-10 COMP N180S  
DAMPING VALUES ARE 0, 2, 5, 10 and 20 PERCENT OF CRITICAL

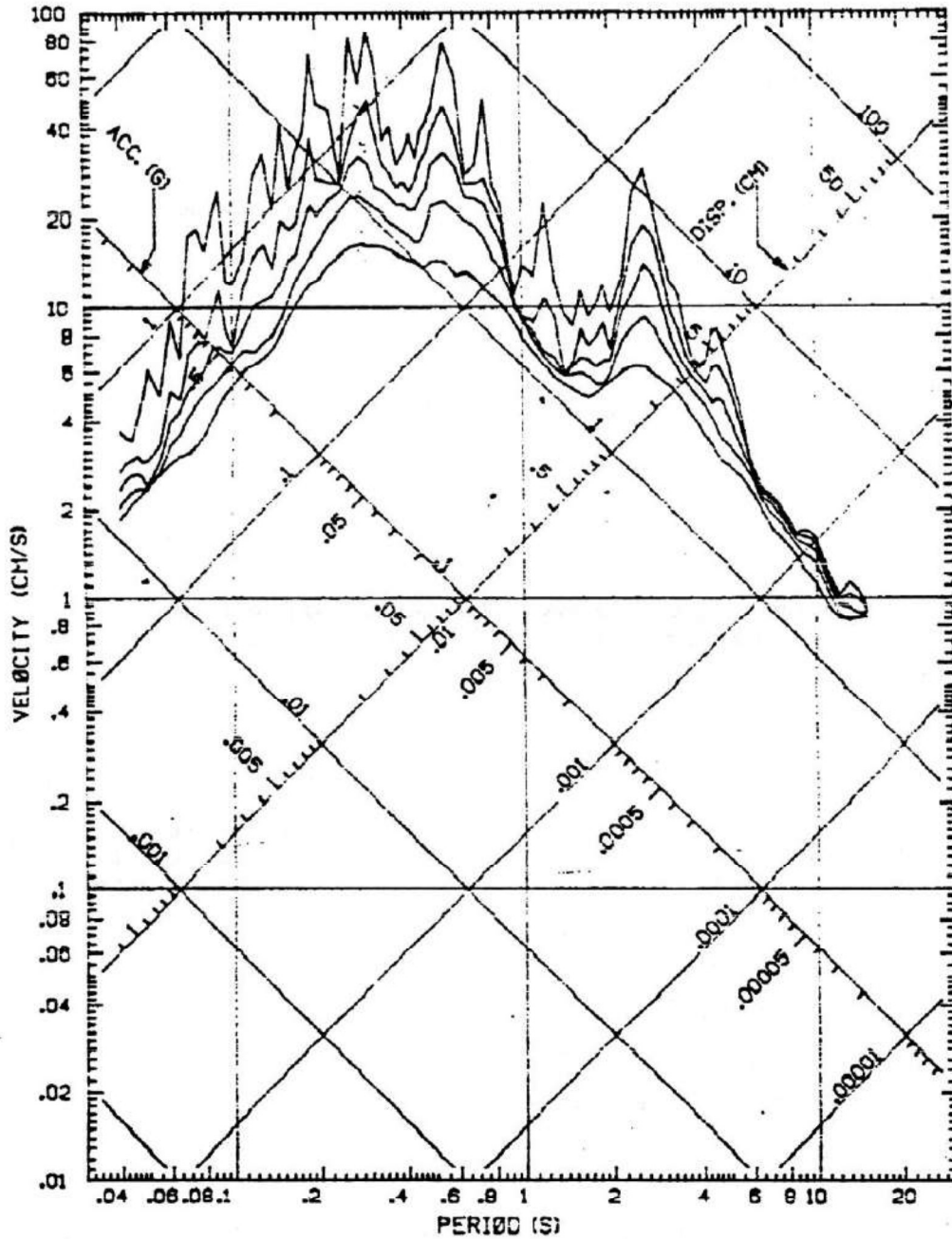


Figure 6