

PROJET DE BARRAGE SUR L'OUED MARTIL (REGION DE TETOUAN) ETUDE SISMOLOGIQUE

Ben Aïssa TADILI¹ & Mohamed RAMDANI¹

التادلي بنعيسى والرمضاني محمد

ملخص

مشروع سد على وادي مرتيل، (ناحية تطوان) دراسة زلزالية.

تم إنجاز الدراسة الزلزالية لمشروع وادي مرتيل بواسطة معطيات تغطي فترة زمنية تقدر ب 200 سنة. وبواسطة هذه المعطيات تم اختيار الزلزال النموذجي وتوقيع توابت الحركة المرتقبة للأرض في المشروع.

RESUME

L'étude sismologique pour le projet de barrage sur l'oued Martil a été basé sur des données couvrant une période de 200 ans.

Ces données ont permis de choisir le séisme de référence, et le calcul des paramètres du mouvement du sol probable au site de l'ouvrage.

SUMMARY

The sismological study for the dam project over river Martil was founded on data covering 200 years period.

These data permitted us to choose the reference earthquake for the estimation of the parameters of the probable ground motion on the location of the site.

INTRODUCTION

Pour l'évaluation de la sismicité d'un site il est en général acceptable de supposer que la majorité des séismes résultent d'une libération brusque de l'énergie accumulée dans la croûte terrestre le long d'une faille. Ainsi la première étape dans le développement d'un modèle de source est l'identification et la localisation de toutes les failles dans le voisinage du site, qui sont des sources potentielles de la majorité des séismes. Pour tenir compte de ce fait trois cas ont été proposés (DERKIUREGHIAN et coll, 1977), le premier suppose que la longueur, la direction et la position de la faille par rapport au site sont connues, le second suppose que seule la direction est connue, alors que le dernier ne tient compte d'aucune indication sur le système de failles. La deuxième étape est la quantification de la distribution spatiale des futurs séismes. En utilisant une approche probabilistique, cette quantification permettra l'estimation du poids des facteurs représentant une probabilité conditionnelle qui répond à la question suivante : si un séisme se produirait, quelle serait son intensité et sa localisation par rapport au site ? Cette question aura une meilleure réponse en combinant nos connaissances sur la tectonique régionale, la géologie locale et les données sismologiques.

DONNÉES GÉOLOGIQUES

Les données géologiques nécessaires pour cette étude sont la nature du sol et les positions des failles existantes au voisinage du site. Les données disponibles montrent l'existence de deux accidents majeurs dans la région l'un au contact de l'unité de Tanger et de Beni Ider (fig. 1) l'autre au niveau de la dorsale calcaire. Ceci a permis de supposer l'évènement de référence à 5 km du site de l'ouvrage.

DONNÉES SISMOLOGIQUES

La région du site (Barrage sur l'oued Martil) a été affectée par de nombreux séismes historiques destructeurs dont le récit a été rapporté dans plusieurs chroniques marocaines et autres, l'annexe 1 obtenue à partir de l'article de ROUX (1934) présente les évènements relatifs à la période 1755 - 1930 pour la région Tétouan-Tanger.

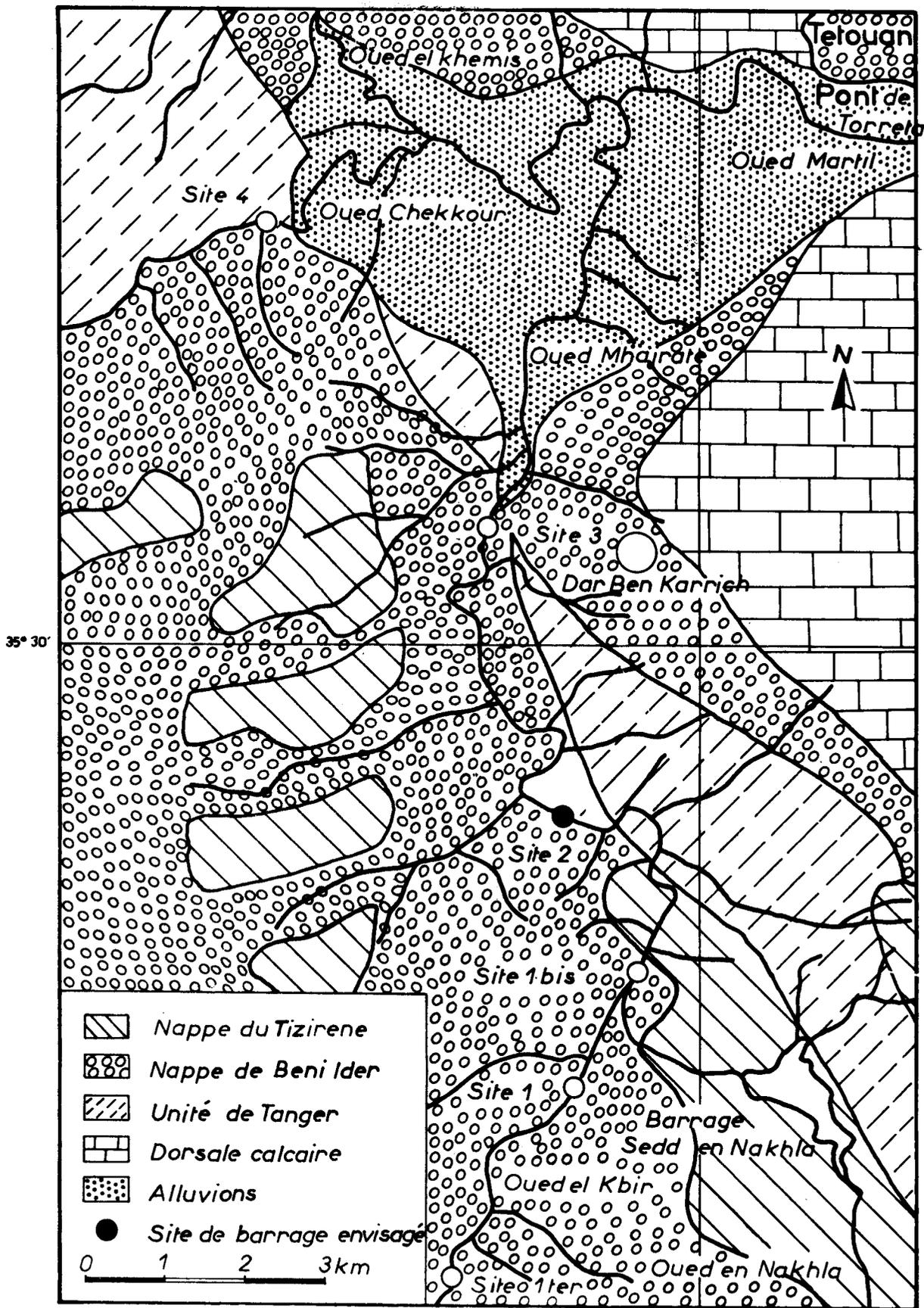


Fig. 1 : Plan de situation et schéma géologique des sites de l'Oued Martil (Géologie et Géotechnique (1981), document de la direction de l'hydraulique Maroc).

Nous avons complété ces données avec celles relatives à la période 1901-1978 (TADILI et RAMDANI, 1983); seuls les séismes de magnitude supérieure ou égale à 4, sur l'échelle de Richter, sont pris en compte (fig. 2). L'analyse de la figure 2 montre que la région du site est située sur une zone de forte sismicité qui peut être attribuée à l'activité des failles locales de la région et au mouvement relatif des deux grandes plaques lithosphériques, l'Eurasie et l'Afrique. La Ride Açores-Gibraltar est bien marquée par de nombreux épïcêtres relatifs à des séismes assez forts (magnitude supérieure à 5) susceptibles d'avoir des effets néfastes sur l'ouvrage projeté. Le séisme de 1775 de magnitude 9 est originaire de cette ride.

INTENSITE ET MAGNITUDE

Les données précédentes nous permettent d'estimer l'intensité maximale probable à l'épicentre I MAX = IX sur l'échelle internationale; elle correspond au séisme du 21 janvier 1909, situé à 35°, 6 N et 5°, 4 W (Douar de Roumana, voir Annexe) pris comme séisme de référence, qui se trouve dans le domaine des intensités supérieures ou égales à 8 sur la carte des intensités maximales ressenties (BENSARI, 1978).

Pour l'estimation de la magnitude correspondante nous utilisons l'expression reliant la magnitude et l'intensité pour les séismes du Maroc (RAMDANI et TADILI, 1982),

$$M = 0.21 I_0 + 3.32$$

I_0 MAX = IX nous conduit à $M = 5.2$ qu'on peut majorer à la valeur M max : 5.5 puisqu'on cherche à déterminer les valeurs maximales de l'accélération, de la vitesse et au déplacement correspondant au mouvement maximum du sol.

Un travail en cours (RAMDANI et al.) nous a montré que le risque d'avoir un séisme de magnitude 5.5 dans la zone comprise entre 35°N - 37°N et 5°W - 7° W, est de l'ordre de 100% pour une période de 50 ans.

Les coordonnées du site étant 35°, 47 N et 5°, 44 W et ceux du séisme de référence 35°, 6 N et 5°, 4 W la distance du site à la source de l'évènement est $R = 14,9$ km, le séisme étant supposé superficiel; le calcul des paramètres du sol sera effectué pour les distances site-épïcêtre $R = 15$ km; $R = 5$ km et $R = 0$ km.

PARAMÈTRES DU MOUVEMENT DU SOL

Les procédures analytiques pour l'évaluation du risque sismique supposent que les paramètres magnitude M et la distance du site à la source de l'évènement

ETUDE SISMOLOGIQUE SUR L'O. MARTIL

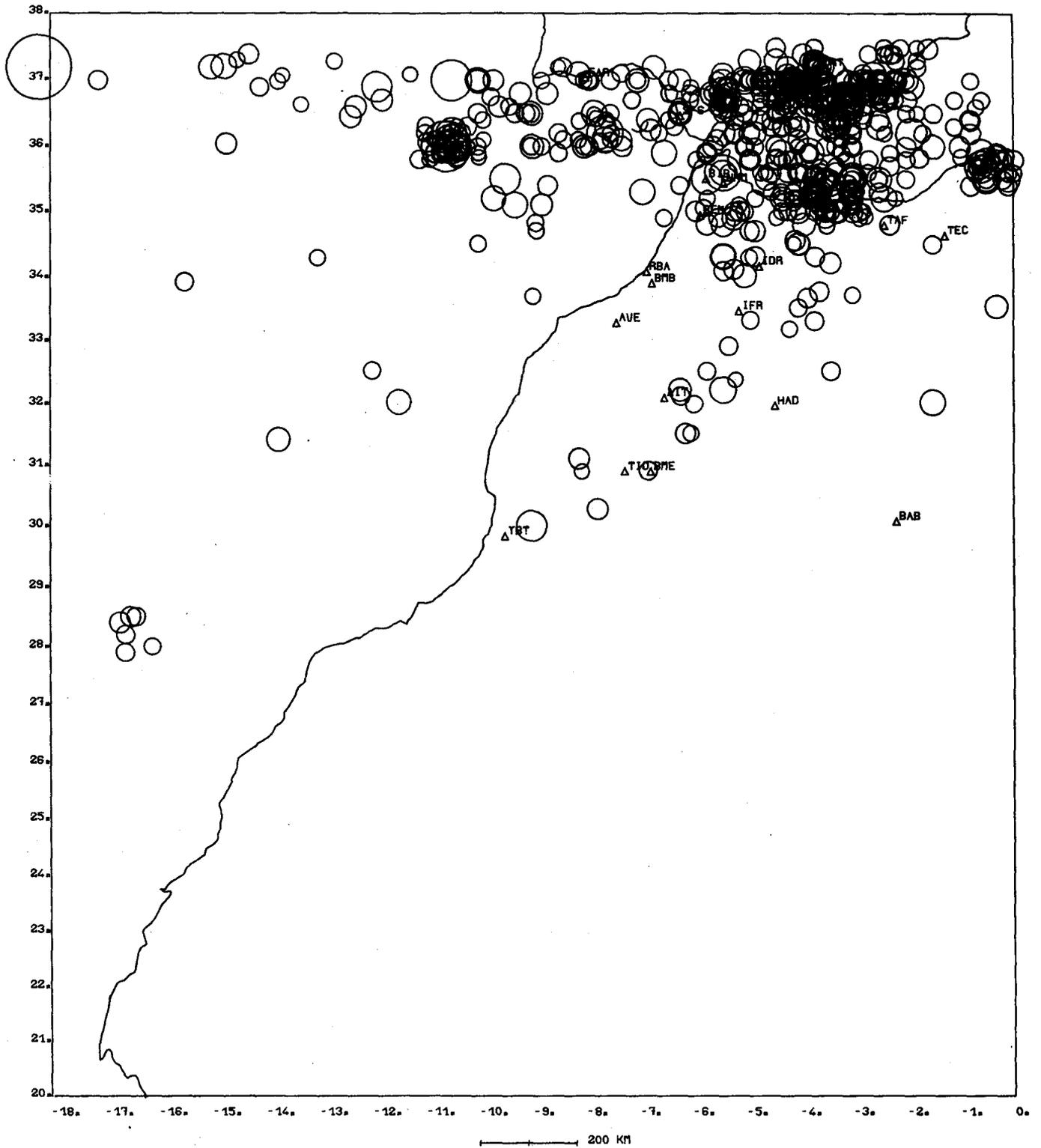


Fig. 2 : Carte des épicentres des séismes de $M > 4$ pour la période 1901-1978.

sont des variables indépendantes. Il est admis cependant que ces deux paramètres sont liés et que la relation d'atténuation du mouvement du sol est une fonction de la distance et se présente sous la forme :

$$y = b_1.R^{b_3}.e^{b_2.M} \quad (1)$$

y représente les paramètres (accélération a, vitesse V, ou déplacement d) du mouvement du sol, M la magnitude, R la distance à la source, et b_1 , b_2 , b_3 sont les coefficients d'atténuation. Dans la forme usuelle de l'équation (1) ces coefficients sont supposés constants, mais dépendent de la nature du sol.

Le tableau 1 donne les valeurs maximales de l'accélération a, la vitesse V et le déplacement d ainsi que les références des expressions utilisées pour le calcul. Nous avons aussi exprimé les valeurs des rapports V/a et $a.d/V^2$, ces quantités sont proportionnelles aux périodes de transition T_1 et T_2 du spectre de réponse.

L'écart important obtenu pour les différents paramètres est dû aux expressions utilisées et en particulier à leur critère d'établissement et d'application. ESTEVA et al. (1973), pour l'application de leur expression n'ont spécifié aucune limite de magnitude. La distance utilisée est la distance hypocentrale, aucun paramètre dépendant des conditions et de la nature du sol n'a été pris en compte; par contre les deux expressions

Référence	Distance (km)	a (g)	v (cm/s)	d (cm)	v/a (cm/s/g)	ad / v ₂
ESTEVA et al. (1973)	15	0.18	19.5			
	5	0.23	24			
	0	0.35	33			
BLUME (1977)	14.0	0.10				
	5	0.21				
	0	0.29				
BOORE et al. (1978)	15	0.17	12	4	3	4.7
	5	0.48	46	14	97	3.1
DONOVAN et al. (1978)	15	0.14				
	5	0.38				

Tableau 1 : Valeurs des paramètres du mouvement du sol obtenues à partir de certaines références : le calcul a été fait pour les distances sisme-épicentre 15;5 ; et 9 km.

de BLUME (1977) ont été établies en utilisant la procédure du site accélération-magnitude (S.A.M), à partir des données de la Californie et l'Ouest du Nevada pour la période 1933-1970 (795 accélérogrammes et 2713 enregistrements d'explosions nucléaires), la nature du sous-sol a été prise en compte en introduisant les facteurs de BLUME relative au site; la première expression est relative aux magnitudes inférieures ou égales à 6.5, la seconde pour celles supérieures à 6.5.

Les expressions de BOORE et a_L . (1978) et de DONOVAN et a_L . (1978) tiennent compte de la distance du site à la surface de rupture de la faille causale. La première expression a été établie à partir de 19 séismes, la seconde (DONOVAN et a_L . 1978) à partir de 10 séismes de magnitudes comprises entre 5 et 7.7. Ces auteurs indiquent que leur expression est applicable pour une magnitude inférieure à 8, et pour une distance entre le site et le centre de l'énergie sur la faille causale supérieure à 5 km.

Comme le montre le tableau 1, pour une distance de $R = 15$ km, l'accélération est entre 0.10 g et 0.18 g, pour $R = 5$ km les expressions de BLUME (1977) et de ESTEVA et a_L . (1973) donnent des accélérations respectives de 0.21 g et 0.23 g valeurs compatibles entre elles, par contre pour la même distance ($R = 5$ km) l'expression de BOORE et a_L . (1978) nous conduit à une valeur de 0.48 g; Celle de DONOVAN et a_L . (1978) fournie 0.38 g valeur obtenue juste à la limite d'application de l'expression ($R = 5$ km).

Nous suggérons de prendre les valeurs maximales issues du tableau 1, vu que les valeurs du risque sismique dans cette zone sont très fortes (100% pour une durée de 50 ans et une magnitude de 5), et que parmi les données disponibles il n'existe aucun accélérogramme.

$$\begin{array}{l} a \\ \text{Max} \end{array} = 0.48 \text{ g} \quad \begin{array}{l} V \\ \text{Max} \end{array} = 46 \text{ cm/s} \quad \begin{array}{l} d \\ \text{Max} \end{array} = 14 \text{ cm}$$

SPECTRE DE RÉPONSE

Quelques travaux récents ont montré l'apport des spectres de réponse dynamique pour les projets d'engineering (réponse des structures à différentes oscillations). La méthode de construction de ces spectres proposée par NEWMARK (1967) a été appliquée pour le site en considérant une période de retour de 200 année (période correspondant à celle des données citées dans le texte) pour les paramètres représentant le pic du mouvement du sol (figure 3).

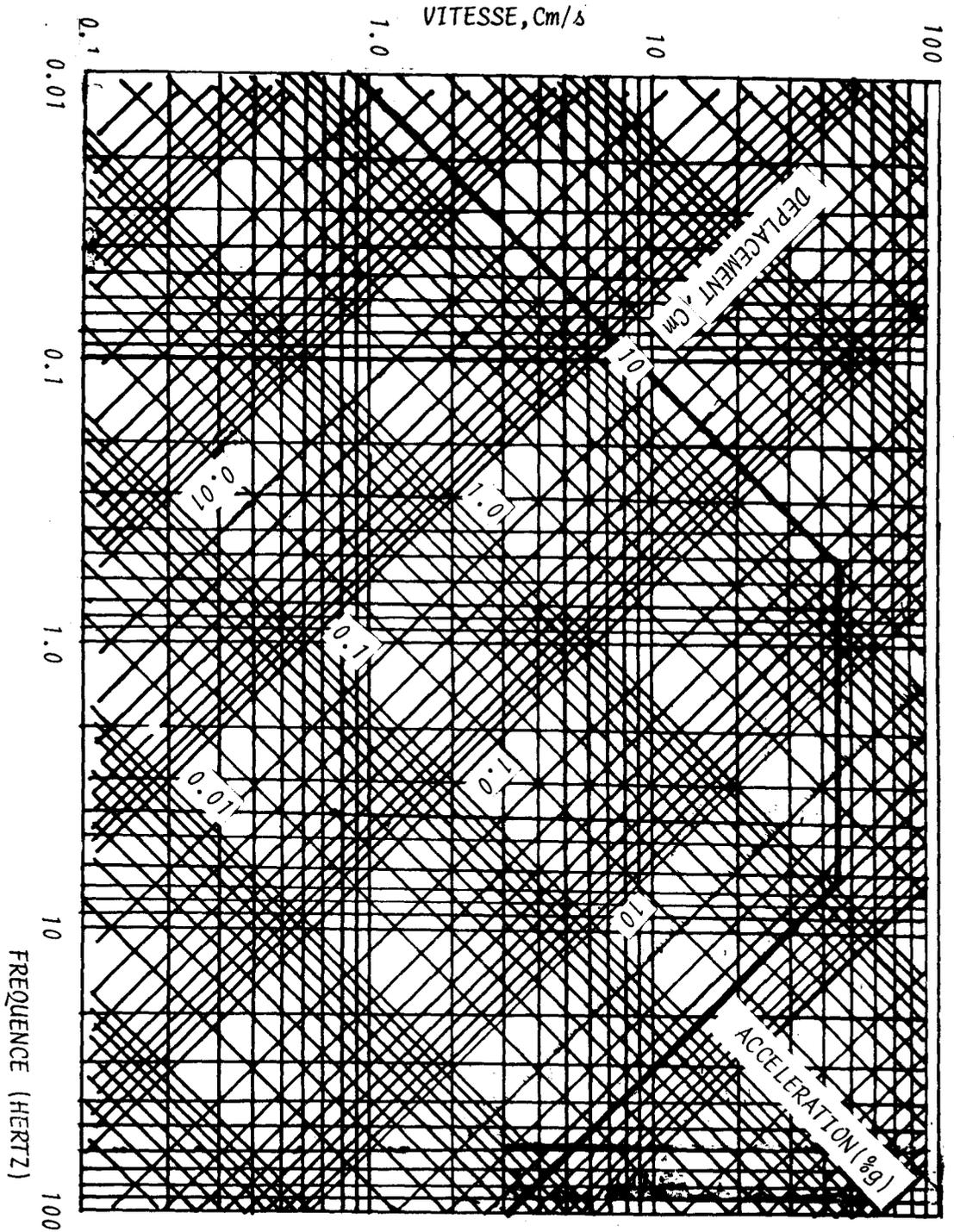


Fig. 3 : Spectre de réponse dynamique.

CONCLUSIONS

Les données disponibles nous ont permis de :

- choisir le séisme de référence,
- calculer les paramètres du mouvement du sol (accélération, vitesse et déplacement) probable au voisinage du site,
- établir un spectre de réponse dynamique qui résume les résultats obtenus.

Des études géographiques seraient d'un apport considérable pour la conception du barrage. Elles devraient porter sur :

- une exploration "in situ" par des méthodes géophysiques (seismic réfraction, forage, ...) pour évaluer l'état de la fondation,
- des études statiques et dynamiques en laboratoire sur les matériaux du barrage soumis à des contraintes semblables à ceux du site.

Le résultat global de ces études permettra d'évaluer le comportement et la performance du barrage.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur A. ZIEGLER ainsi que Monsieur T. STATTON pour leurs suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

- BEN SARI, D., 1978. - *Connaissance géophysique du Maroc*. Thèse d'Etat, Univ. Sci. Med. Grenoble.
- DERKIUREGHIAN, A. & ANG, A. H-S., 1977. - A fault rupture model for seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 4 : 1173-1194.
- IDRISS, I.M., 1978. - Characteristics of earthquake ground motions. *Spec. Conf. On earth. Engin. and soil Dynamics, ASCE, III, Pasadena, California.*
- NEWMARK, N.M., 1967. - *Design criteria for nuclear reactors subjected to earthquake Hazards*. Urbana III.
- RAMDANI, M. & TADILI, B., 1982. - Evaluation du risque sismique dans la région du Nador. *Bull. Inst. Sc.*, 6.
- TADILI, B. & RAMDANI, M., 1982. - Risque sismique dans la région Bético-rifaine et la mer d'Alboran. *Bull. Inst. Sci.*, 6.
- 1983. - Computer file of moroccan earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 2 : 653-654.
- ROUX, G., 1934. - Mémoire annuel consacré à la Physique du Globe et à la Météorologie du Maroc (19832). *Mem. Sc. nat. phys. du Maroc, ancienne série*, 39 : 96 p.

Annexe 1 : Liste des séismes historiques, pour la période de 1755 à 1930, qui ont affectés la région de Tanger-Tetouan.

DATE	LOCALITE	R E M A R Q U E S
1-04-1755	"Tremblement de terre de Lisbonne"	A Tétouan trois fortes secousses furent ressenties vers 10 heures du matin, en l'espace de 8 à 10 minutes, mais elles ne renversèrent aucune maison.
3-04-1755	Ceuta	Des secousses vives, d'une durée de 5 à 6 secondes, ont été ressenties à 7 heures du matin.
3-04-1755	Ceuta	Secousse légère à 2 heures de l'après-midi.
5-04-1755	Ceuta	Forte secousse à 8h 45 mn du soir.
	Ceuta	Du 6 au 16 Novembre 1775 secousses quotidiennes à Ceuta.
17-04-1755	Ceuta	Secousse violente accompagnée d'une très forte tempête.
18-04-1755	Tanger et Tétouan	Des secousses violentes ont été ressenties à 22 heures pendant 4 minutes. Les fontaines cessèrent de couler et dans toute la région un mouvement du sol lent et continu a été observé, accompagné d'un grand bruit.
20-04-1755	Tanger et Tétouan	A différentes reprises dans la journée, principalement à 5h , à 9h et à midi, des secousses furent ressenties.
12-04-1773	Tanger	Tanger fut presque complètement détruite.
9-04-1785	Tanger	Un fort tremblement de terre a été ressenti à Tanger.
2-10-1883	Tanger	La terre a tremblé à Tanger pendant 3 secondes.
9-03-1907	Tanger	A 9h. 5mn un tremblement de terre de degré 5 à 7 (échelle Furel-Mercalli) a été ressenti.
Nuit de 21	Les douars Rhomara à 5 km de Tétouan	Un tremblement de terre de degré 10 (échelle Rossi-Forel) a détruit les douars Rhomara, à 5 km. de Tétouan pendant la nuit de 21 au 22, et fait cent victimes morts ou blessés il a été précédé d'un bruit formidable, qui sema la panique dans la population indigène, et accompagné d'un autre bruit souterrain. Tandis que les indigènes terrorisés s'enfuyaient, la montagne qui abritait leur douar s'effondra, ensevelissant une grande partie d'entre eux.
27-10-1910	Tétouan (dégats)	Un tremblement de terre suivi de deux répliques, enregistré par l'observatoire du Parc Saint-Maur, les stations de Cartuja, de l'Ebre et San Fernando, a été ressenti à Melilla, au penon de la Gomera, et a causé des dégats à Tétouan.
8-03-1923	Tanger	Plusieurs personnes ont ressenti un tremblement de terre à Tanger.
7-03-1930	Entre Tanger et Madère	Une secousse séismique dont l'épicentre se trouvait entre Tanger et Madère, au point de coordonnées 34°2N et 11°8W, a été ressentie à Casablanca et Mogador; elle n'a causé aucun dégât.