

# Chapitre V: Application Numérique

## V-1 Introduction :

En général, l'analyse sismique des structures est souvent basée sur l'hypothèse que la fondation est rigide, qui est soumis à une accélération horizontale. Pour la structure sur la fondation rigide, l'accélération sismique donne naissance à un moment de renversement et de cisaillement transversal. Comme la roche est très raide, ces deux résultantes de contrainte ne conduiront pas à une déformation (supplémentaire) ou à un mouvement de balancement à la base.

Pour la structure fondée sur un sol flexible, le mouvement de la base de la structure sera différent du mouvement en champ libre en raison du couplage du système sol-structure. Ce procédé, dans lequel la réponse du sol influence le mouvement de la structure et la réponse de la structure influence le mouvement du sol, est appelé interaction sol-structure (ISS).

Les chercheurs à travers le monde tentent de quantifier les effets de l'interaction sol-structure afin de réduire la probabilité de dommage pendant un tremblement de terre. Il est reconnu depuis longtemps que les méthodes temporelles sont les méthodes les plus appropriées pour l'analyse par éléments finis. Wolf (1985) a présenté la méthode directe de l'analyse de l'ISS.

Dans ce travail, l'effet de la flexibilité de la fondation sur la réponse dynamique des barrages poids en béton est étudié. A cet effet, la fondation est considérée en deux types : (a) fondation rigide, (b) : fondation flexible. Software Ansys est utilisé pour analyser le comportement du barrage de Oued Fodda, situé dans la Wilaya de Chlef au Nord-Ouest de l'Algérie, sous l'excitation du séisme de Boumerdes (2003).

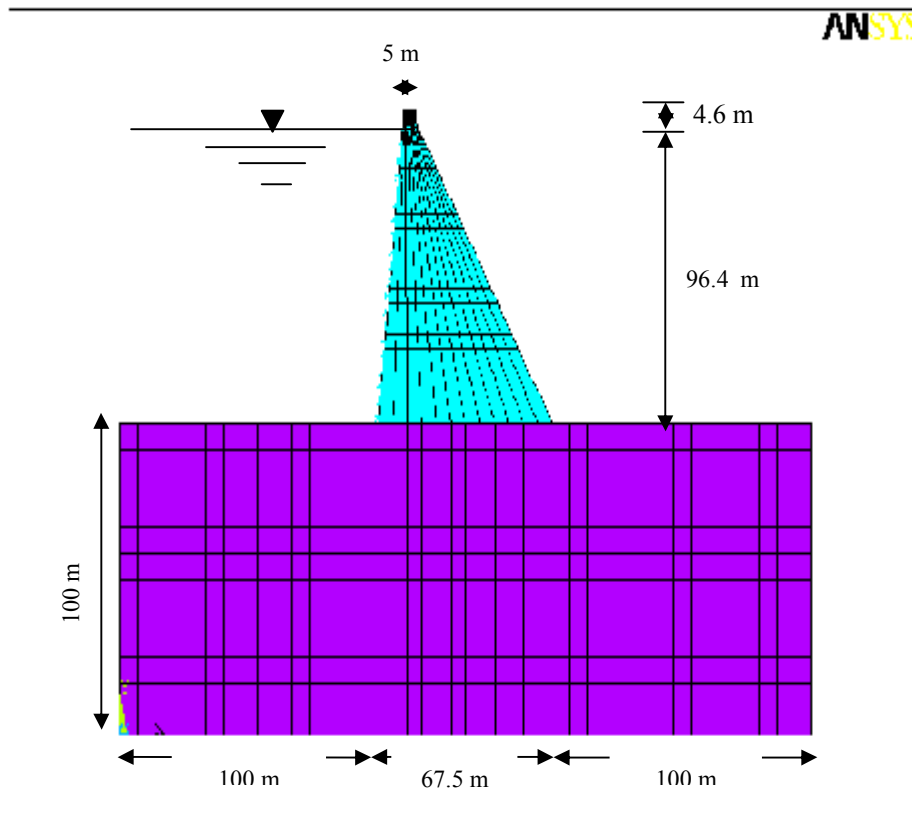
## V-2 Modélisation du système barrage-fondation par éléments finis:

Le barrage de Oued Fodda est choisi dans la présente étude pour la présente analyse. La hauteur du barrage est de 101 m, largeur au sommet du barrage est de 5 m et à la base est de 67.5 m et les fruits amont et aval étant respectivement 10 % et 67.5 %. Le barrage est supposé homogène, élastique linéaire avec les propriétés suivantes : module d'élasticité  $E_d = 24.6 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>, coefficient de Poisson  $\nu = 0,2$  et masse volumique  $\rho_d = 2640$  kg/m<sup>3</sup>. L'effet de la pression hydrodynamique est considéré selon la technique de masse ajoutée initialement proposé par Westergaard.

Les propriétés des matériaux de la fondation sont les suivantes : module d'élasticité  $E_f = 20 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>, coefficient de Poisson  $\nu = 0,33$  et masse volumique  $\rho_f = 2000$  kg/m<sup>3</sup>. Le module d'élasticité de la fondation a été modifié de 0,5 à 4,0 fois du module d'élasticité du barrage, tel que considéré dans la littérature. Toutefois, pour des raisons d'espace et afin de mieux illustrer les différences possibles de comportement, seuls les résultats obtenus pour des conditions extrêmes de sol flexible et rigide ( $E_f/E_d = 0.5$  et 4).

## Chapitre V: Application Numérique

Une discrétisation à deux dimensions (2D) par éléments finis (figure V-1), est utilisée pour la modélisation du système barrage-fondation. Ce modèle d'éléments finis est créé en utilisant software Ansys. Ansys est l'un des principaux programmes commerciaux d'éléments finis dans le monde et peut être appliquée à un grand nombre d'applications dans l'ingénierie.



**Figure V-1- Discretisation par éléments finis du système barrage-fondation**

Un modèle à deux dimensions (2D) par éléments finis avec 4795 nœuds et 1512 éléments plans (PLANE 82) est utilisé pour modéliser le barrage avec le sol de fondation adjacent (figure V-1). Il est généralement admis que les barrages en béton ont des rapports d'amortissement visqueux de 2% à 5%. L'amortissement pour l'ensemble du système structural est modélisé par l'amortissement de Rayleigh. Dans cette étude, un amortissement de Rayleigh de 5% est appliquée à la fois du barrage et de la fondation.

## Chapitre V: Application Numérique

### V-3- Analyse dynamique

#### V-3-1- Analyse modale

Les plus basses cinq fréquences naturelles du barrage avec fondation rigide et du barrage avec fondation flexible sont présentées dans les tableaux 1 et 2 respectivement.

Mode	Fréquence (Hz)	Période (second)
1	3.096	0.32300
2	7.336	0.13631
3	8.878	0.11264
4	12.509	0.07994
5	16.994	0.05884

**Tableau 1 : Les cinq premières fréquences naturelles du barrage avec fondation rigide**

Mode	Fréquence (Hz)	Période (second)
1	2.283	0.43802
2	4.668	0.21422
3	5.214	0.19179
4	6.896	0.14501
5	8.996	0.11116

**Tableau 2 : Les cinq premières fréquences naturelles du barrage avec fondation flexible**

D'après les tableaux 1 et 2, il est clair que pour le cas du barrage avec fondation rigide, les fréquences sont élevées que celles pour le cas du barrage avec fondation flexible. Ceci est dû au fait que la matrice de rigidité est située au numérateur de la formule de fréquence. Cela signifie que l'augmentation de la rigidité conduit à une augmentation de la fréquence et vice versa.

#### V-3-2- Analyse transitoire :

La réponse sismique du barrage a été étudiée compte tenu du comportement linéaire d'interaction barrage –fondation soumis aux accélérations du séisme de Boumerdès (2003) (figure V-2). Une analyse transitoire en utilisant la méthode de Newmark est effectuée pour les deux cas représentant le barrage-poids en béton de Oued Fodda.

## Chapitre V: Application Numérique

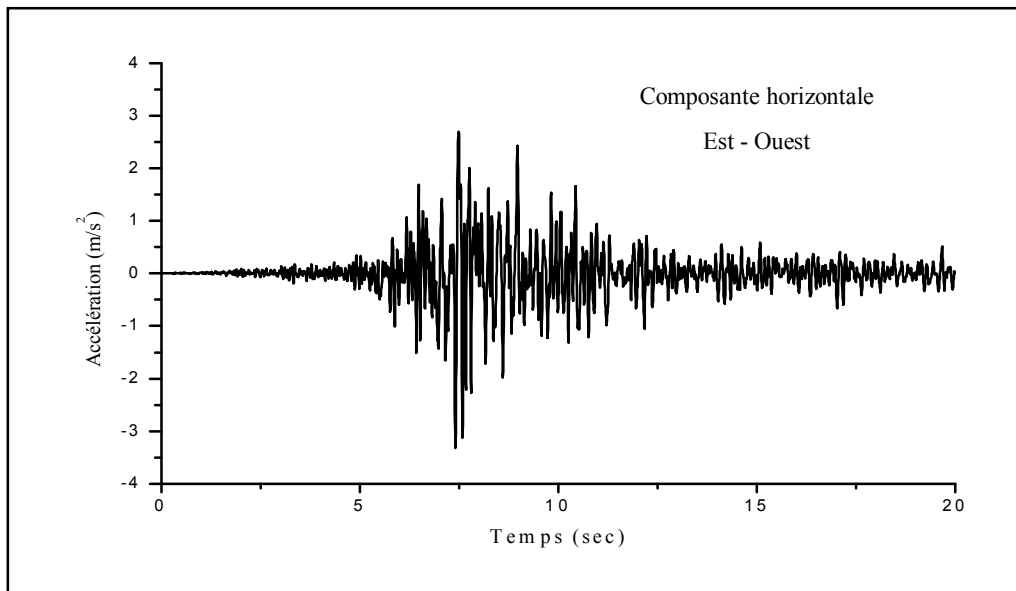


Figure V-2-Enregistrements du séisme de Boumerdes (2003)

### V-3-3- Variation des déplacements

A partir de la figure 3, on peut observer que dans le cas du barrage avec fondation rigide le déplacement maximum à la crête est de 2.226 cm, tandis que dans le cas du barrage avec fondation flexible, il est de 5.304 cm. Cela indique qu'il y a environ 140 % d'augmentation de l'amplitude du déplacement de la crête dans le cas de la fondation flexible.

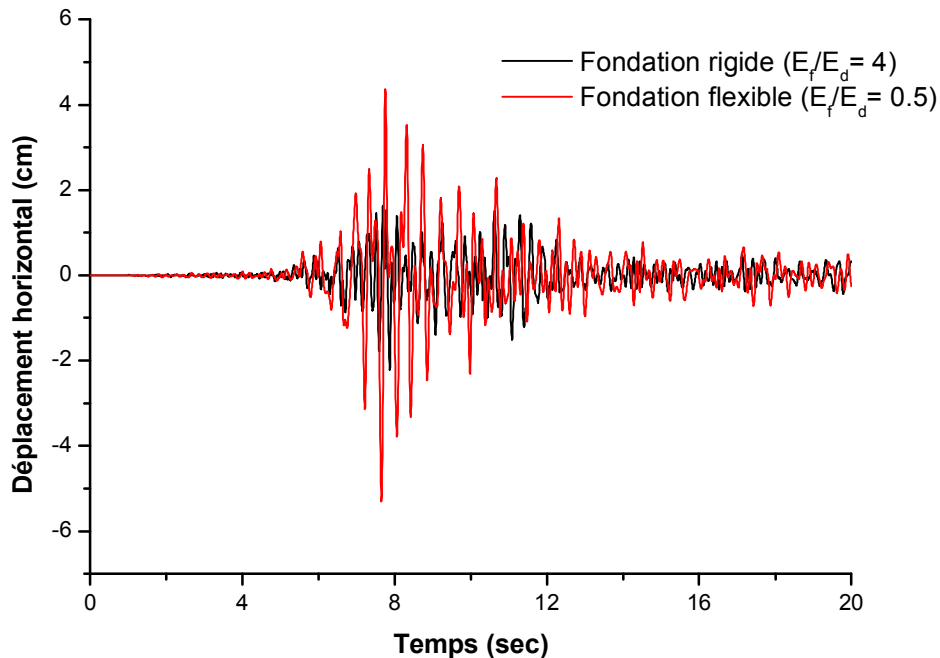
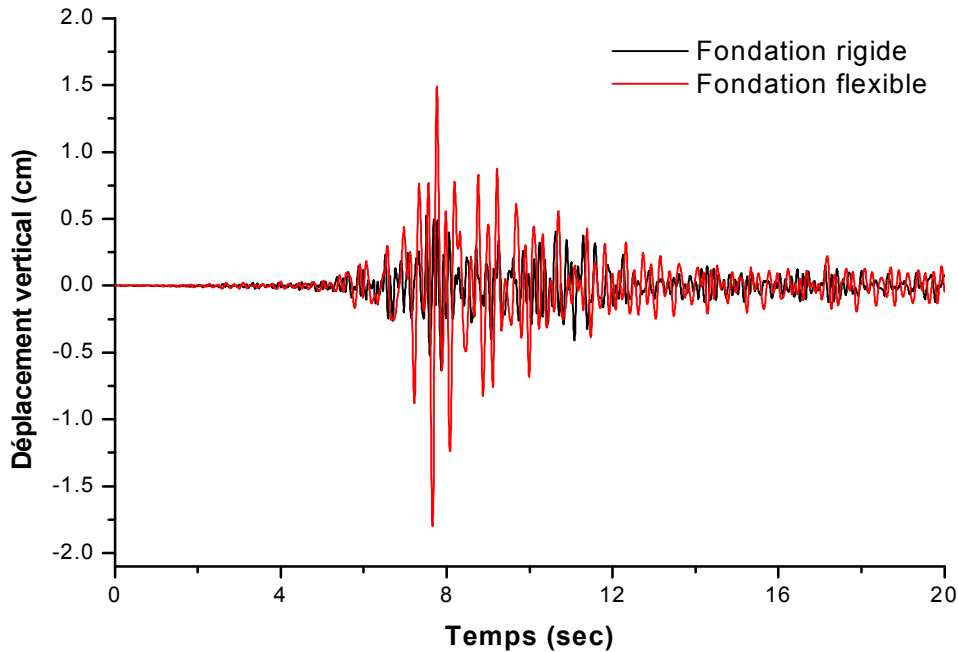


Figure V-3-Variation des déplacements horizontaux à la crête du barrage

## Chapitre V: Application Numérique

La (figure V-4) représente une comparaison des déplacements verticaux maximums à la crête du barrage pour les deux cas étudiés (barrage avec fondation rigide et barrage avec fondation flexible).



**Figure V- 4-Variation des déplacements verticaux à la crête du barrage**

A partir de ces figures, on peut conclure que :

Les déplacements sont plus grands lorsque la flexibilité du sol est considérée que pour le cas du sol rigide. Les résultats de l'analyse modale peuvent être utilisés pour interpréter cette observation. Les tableaux 1 et 2 montrent que les fréquences pour le cas du barrage avec fondation flexible sont inférieures à celles dans le cas du barrage avec fondation rigide, ce qui signifie les périodes et, par conséquent, les déplacements du premier cas sont supérieurs à ceux du second cas.

### **V-3-4- Variation des contraintes :**

Les figures 5, 6 et 7 représentent une comparaison des contraintes maximales horizontales, verticales et de cisaillement au pied du barrage respectivement, pour les deux cas étudiés, barrage avec fondation rigide et barrage avec fondation flexible.

Il peut être vu à partir des figures que la présence de la fondation flexible développe plus de contraintes dans le corps du barrage par rapport au cas du barrage avec fondation rigide.

## Chapitre V: Application Numérique

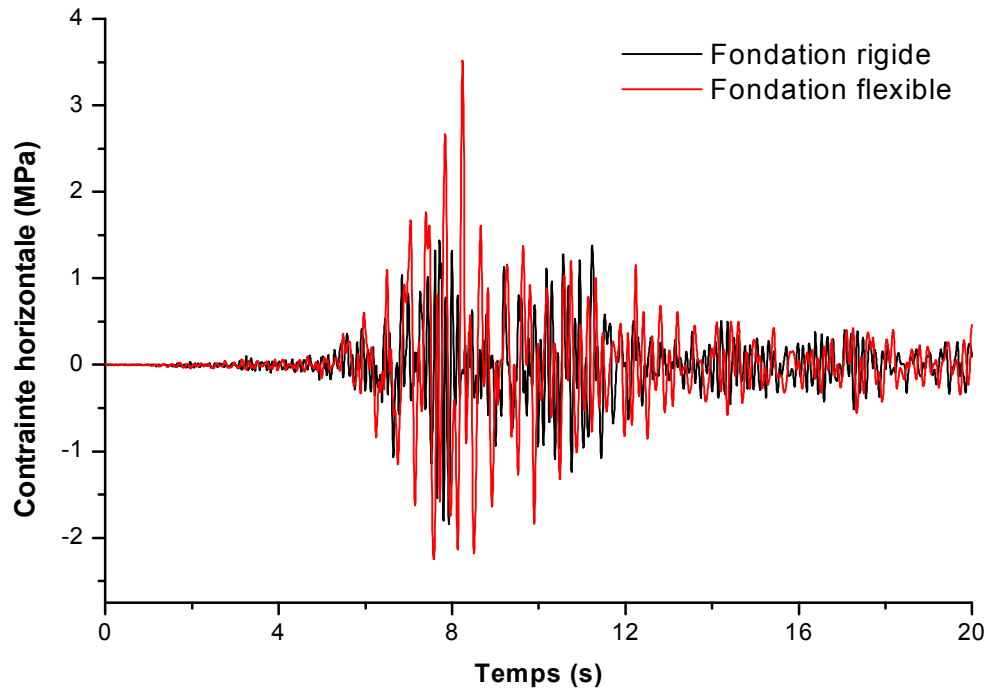


Figure V-5-Variation des contraintes horizontales au pied du barrage

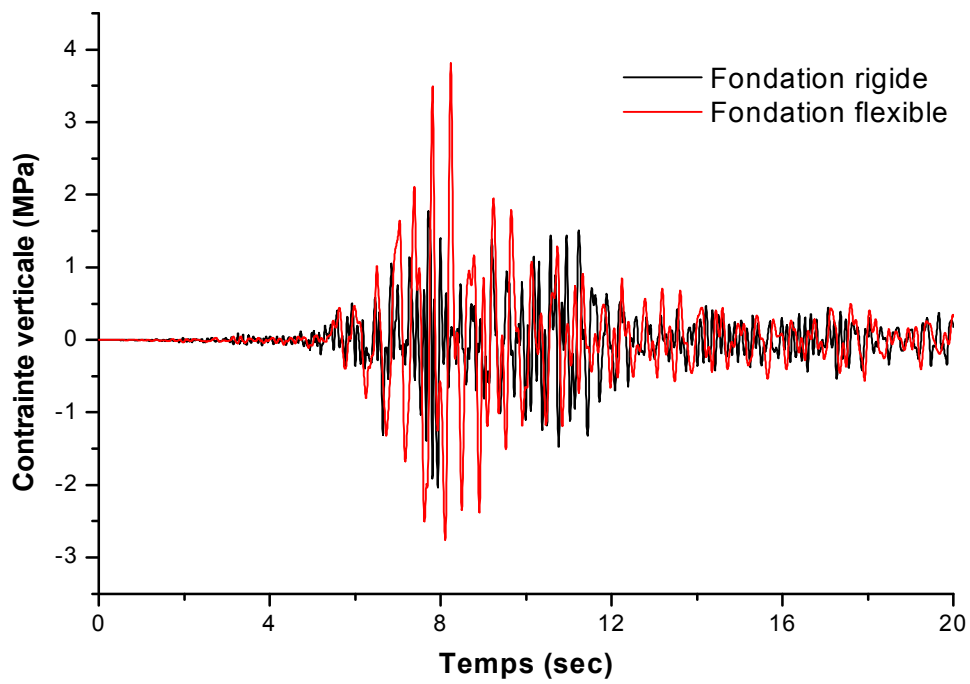


Figure V-6-Variation des contraintes verticales au pied du barrage

## Chapitre V: Application Numérique

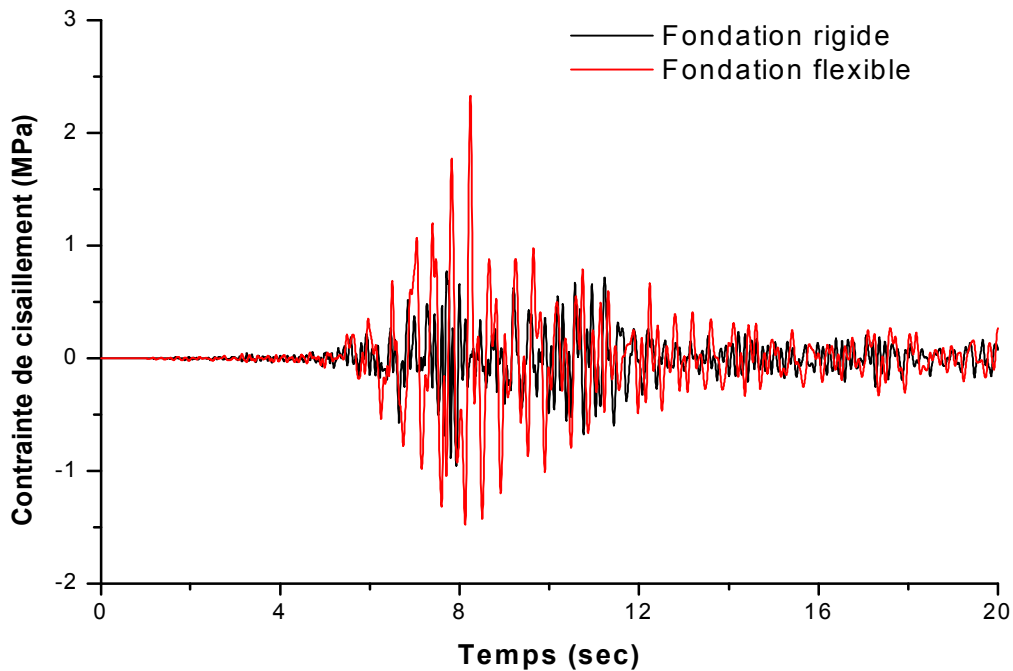


Figure V-7-Variation des contraintes de cisaillement au pied du barrage

### V-4-Conclusion

Le présent travail a été une tentative pour identifier les effets de la flexibilité de la fondation sur la réponse sismique d'un barrage-poids en béton. Les conclusions suivantes ont été tirées sur la base des résultats obtenus.

- \* Le cas du barrage avec fondation flexible est plus conservatif que le cas du barrage avec fondation rigide.
- \* Le déplacement et les contraintes augmentent lorsque la flexibilité de la fondation est considérée par rapport à l'hypothèse d'une fondation rigide.

Le barrage avec fondation flexible est plus excité que le barrage avec fondation rigide, ce qui justifie la différence de contraintes et de déplacements pour les deux cas étudiés. Ceci est dû au fait que le module d'élasticité du sol de fondation pour le cas du barrage avec fondation flexible est inférieur au module d'élasticité du sol pour le cas du barrage avec fondation rigide.