RESULTATS : PRESENTATION ET COMPARAISON

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats d'analyse obtenus de la structure à base fixe, à savoir la fréquence et le mode propre afin de les utiliser dans l'analyse de la structure avec isolation à la base respectivement pour le modèle linéaire et le modèle non linéaire ; ainsi que la validation du modèle simplifié développé précédemment.

7 .1.Résultats de l'analyse dynamique du modèle à base fixe :

7.1.1. Structure n°1(de 4 étages) :

D'après les résultats des fréquences du premier et deuxième mode de la structure de 4 étages présentés dans le Tableau7.1 et la figure.7.1. Nous constatons que l'erreur pour la première fréquence issue de la méthode de Rayleigh Ritz par rapport au logiciel ETABS est égale à 0.04%, et pour la deuxième fréquence l'erreur est de 0.42%. Donc les valeurs de fréquence obtenues par la méthode approchée sont acceptables pour la structure de 4 étages.

		Méthode de Rayleigh RITZ		Logiciel ETABS	
Fréquences		ω_1(rad/sec)	ω_2(rad/sec)	ω_1(rad/sec)	ω_2(rad/sec)
		8.5177	8.5645	8.5141	8.6004
Modes		ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2
Les niveaux	3	0.0310	-0.0314	0.0304	-0.0304
	2	0.0310	-0.0314	0.0260	-0.0260
	1	0.0206	-0.0209	0.0182	-0.0182
	RDC	0.0105	-0.0105	0.0081	-0.0082

Tableau .7.1 : Résultats d'analyse de structure à base fixe de 4étages

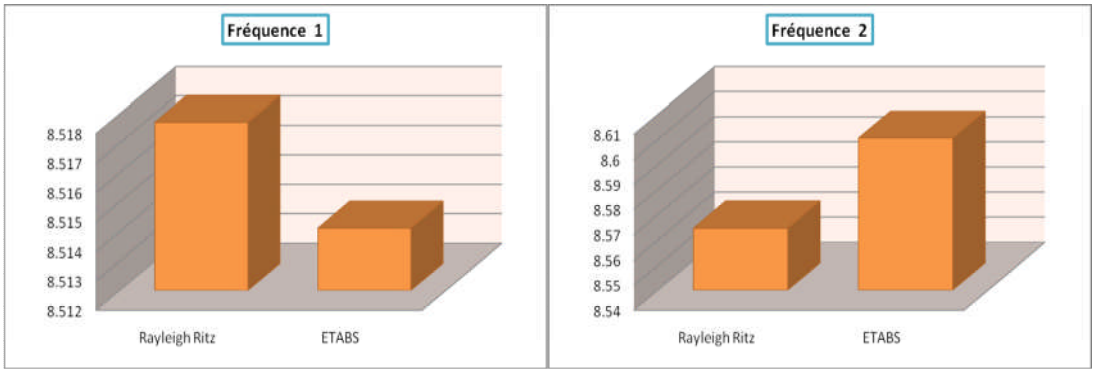

Fig.7.1 : Deux premières fréquences de structure à base fixe de 4étages

Les résultats illustrés ci-dessous dans le tableau7.1, et la figure7.2 présentent la comparaison entre les valeurs des deux modes obtenues par la méthode de Rayleigh Ritz et le logiciel ETABS pour les deux premiers modes de la structure de 4 étages

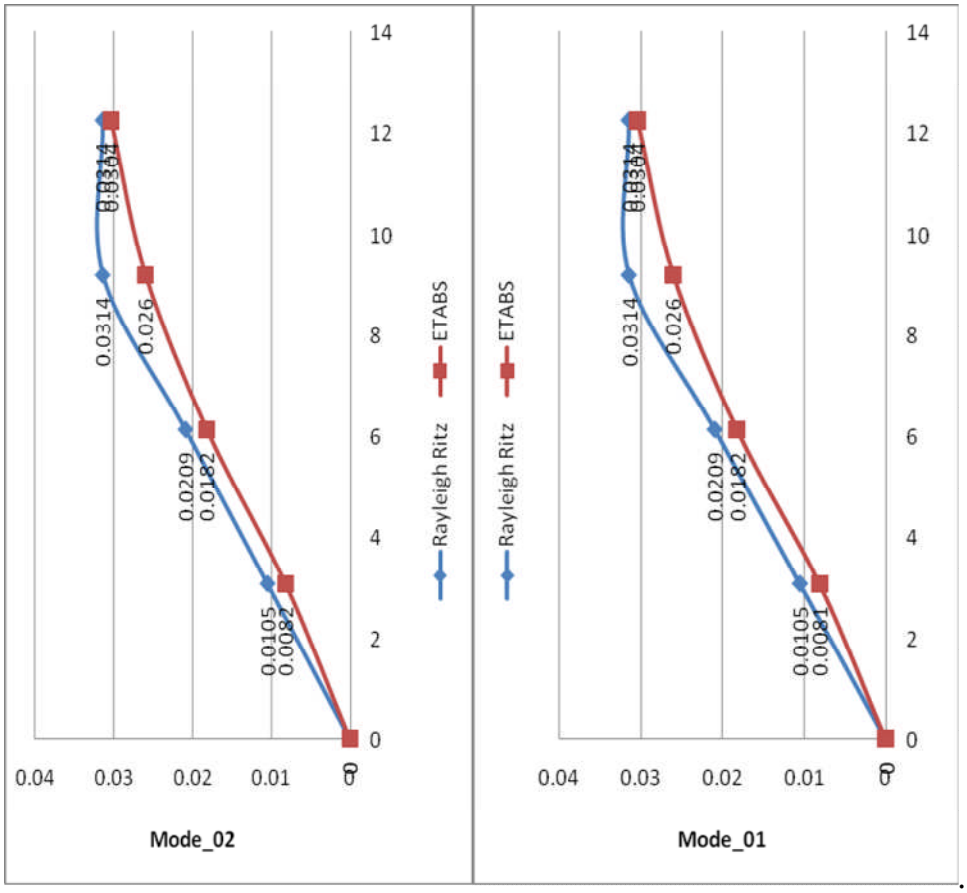

Fig.7.2 : Deux premières modes de structure à base fixe de 4 étages.

7.1.2. Structure n° 2(de 10 étages) :

D'après les résultats des fréquences du premier et deuxième mode de la structure de 10 étages représentés dans le Tableau 7.2 et la figure.7.3, nous remarquons que l'erreur pour la première fréquence obtenue par la méthode de Rayleigh Ritz par rapport à celle donnée par le logiciel ETABS est égale à 0.89%, et pour la deuxième fréquence l'erreur est égale à 7.5%.

		Méthode de Rayleigh RITZ		Logiciel ETABS	
Fréquences		ω_1(rad/sec) 3.4346	ω_2(rad/sec) 3.7075	ω_1(rad/sec) 3.4653	ω_2(rad/sec) 3.4486
Modes		ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2
Les niveaux	9	0.0383	0.0383	0.0201	0.0202
	8	0.0383	0.0383	0.0195	0.0196
	7	0.0349	0.0349	0.0184	0.0185
	6	0.0314	0.0314	0.0170	0.0169
	5	0.0279	0.0279	0.0151	0.0151
	4	0.0244	0.0244	0.0129	0.0129
	3	0.0209	0.0209	0.0105	0.0104
	2	0.0174	0.0174	0.0078	0.0077
	1	0.0139	0.0139	0.0050	0.0049
	RDC	0.0070	0.0070	0.0021	0.0021

Tableau .7.2 : Résultats d'analyse de structure à base fixe de 10 étages

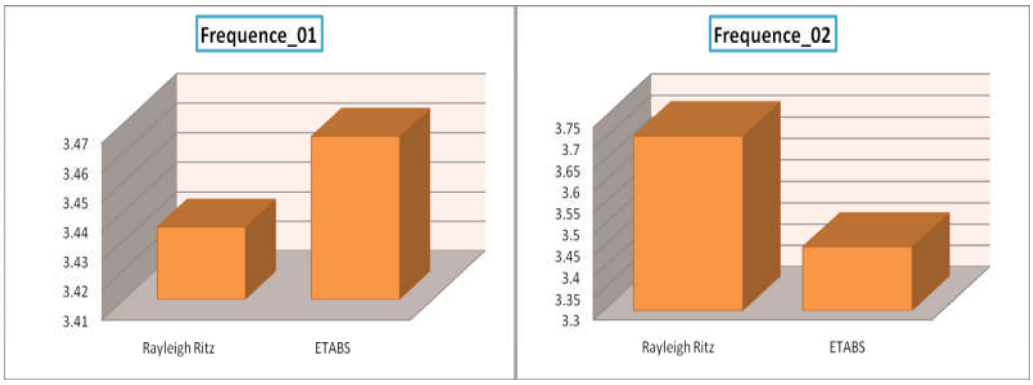

Fig.7. 3 : Deux premières fréquences de structure à base fixe de 10 étages

Les résultats illustrés dans le tableau 7.2 et le figure.7.4 présentent la comparaison entre les valeurs des deux modes entre la méthode de Rayleigh Ritz et le logiciel ETABS pour la structure à 10 étages.

- A partir de ce résultat obtenu pour la première fréquence (mode fondamentale) de la structure de 10 étages, on peut dire que : cette valeur est acceptable par rapport à celle obtenue par le logiciel ETABS.

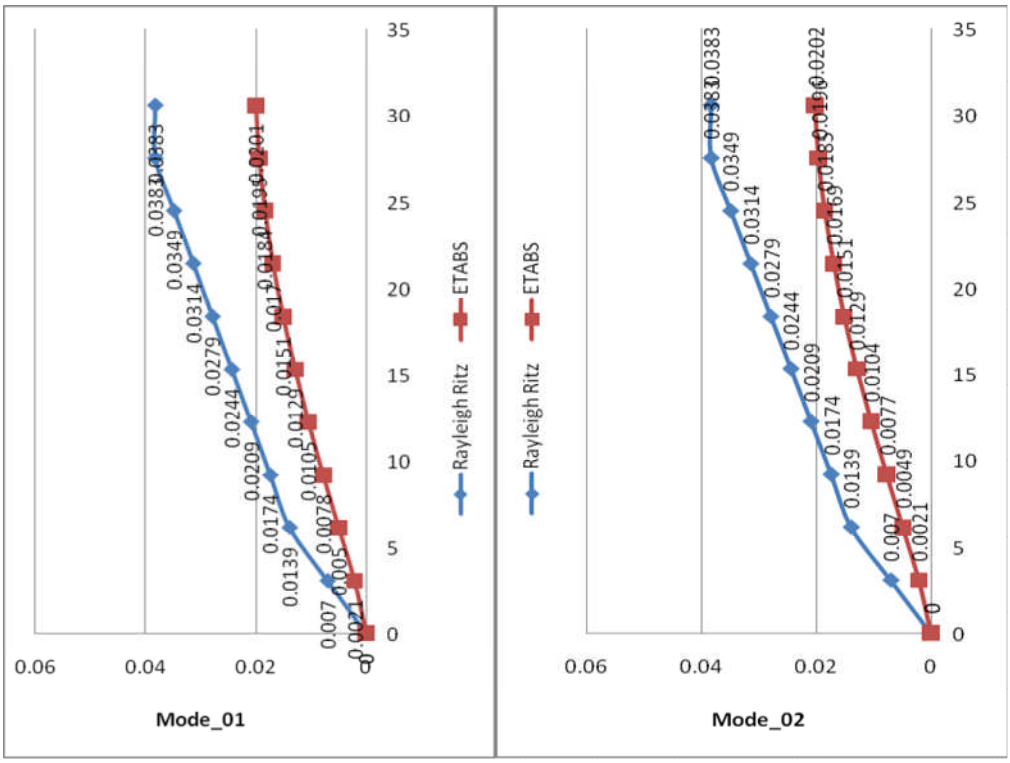

Fig.7.4 : Deux premières modes de structure à base fixe de10 étages.

7 .2.Résultats de l'analyse dynamique du modèle avec isolation parasismique :

À partir des fréquences obtenues par la méthode approchée de Rayleigh Ritz pour la structure à base fixe de 4 et de 10 étages pour déterminer le déplacement de conception selon le règlement de l'IBC2000. Nous remarquons ce qui suit :

- Dans les structure à base fixe et à base isolée de 4 étages avec respectivement une période $T_0 = 0.7376$ sec et $T_{isolée} = 2.5$ sec qui correspondent à un déplacement de conception D_d=0.207m est inferieur à celui du règlement de l'IBC 2000 équivalant à $0.30m$.
- Dans les structures à base fixe et à base isolée de 10 étages avec respectivement une période $T_0 = 1.8210$ sec et $T_{isolée} = 5.4630$ sec qui correspondent à un déplacement de conception $D_0 = 0.4525m$ est supérieur à celui préconisé par le règlement de l'IBC 2000 équivalant à $0.30m$. Dans ce cas nous somme dans l'obligation d'utiliser $T_{isolée} = 3.5$ sec car cette période se trouvant dans l'intervalle qui donne un déplacement de conception égale à $0.2899m$ inférieur au déplacement critique préconisé par le règlement.

  Les résultats de ces paramètres dynamiques pour chacune des deux structures sont détaillés comme suit :

7.2.1. Structure de 4 et 10 étages (modèle linéaire) :

Dans le Tableau.7.3 nous présentons la réponse maximale de la structure de 4 et de 10 étages du modèle linéaire du système d'isolation parasismique en barreau de plomb LRB (Lead Rubber Bearing) sous les effets sismiques.

	Sollicitation sismique	Déplacement (cm)	Accélération (cm /s^2)	Effort tranchant (KN)
Structure de 4 étages	Northridge	30.894	888.002	357489.025
	Loma Prieta	18.464	489.055	215216.429
	Landers	26.128	311.6701	303052.997
	EL Centro	104.611	591.228	1214507.127
Structure de 10 étages	Northridge	25.044	867.228	270660.881
	Loma Prieta	21.605	420.776	260741.784
	Landers	37.891	235.776	416073.761
	EL Centro	164.762	598.871	1892644.261

Tableau 7.3 : Résultats d'analyse de structure avec isolation parasismique de 4 et de 10 étages.

D'après ces résultats et les figures ci-dessous nous tirons les remarques suivantes ;

La figure.7.5 illustre la comparaison des déplacements pour les derniers niveaux de structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de Northridge.

Le déplacement maximal de la structure de 4 étages est égale à 30.894 cm pour une durée (T=14.58 sec). Quant à la structure de 10 étages le déplacement maximale est égale à 25.044 cm pour une durée (T=14.68 sec).

On résulte que l'amplification de ce dernier est considérablement réduite tous les 60 secs (durée de sollicitation par rapport à la structure de 4 étages). Ceci implique la réduction des sollicitations sismiques sous l'effet du système d'isolation LRB (Lead Rubber Bearing).

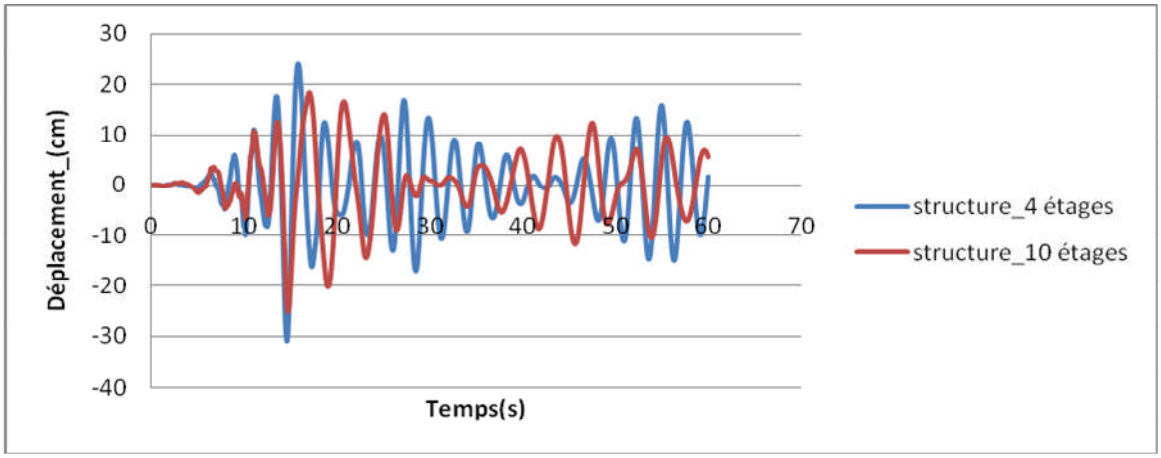

Fig.7.5 : Comparaison entre déplacement du dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Northridge (modèle linéaire).

La figure .7.6 représente la comparaison des accélérations du dernier niveau de la structure de 4 et 10 étages sous l'accélération du séisme de Northridge égale à 865.965 cm/s^2. On observe que les accélérations des deux structures sont quasi égales durant l'intervalle des 10 premières secondes.

- L'accélération maximale de la structure de 4 étages est 888.002 cm/s^2 en (T=10.12sec) ;
- L'accélération maximale de la structure de 10 étages égale à 867.228 cm/s^2 en (T=10.12sec).

On résulte que l'allongement de la période donne un facteur d'amplification d'accélération faible de la superstructure pour les derniers niveaux des structures de 4 et 10 étages.

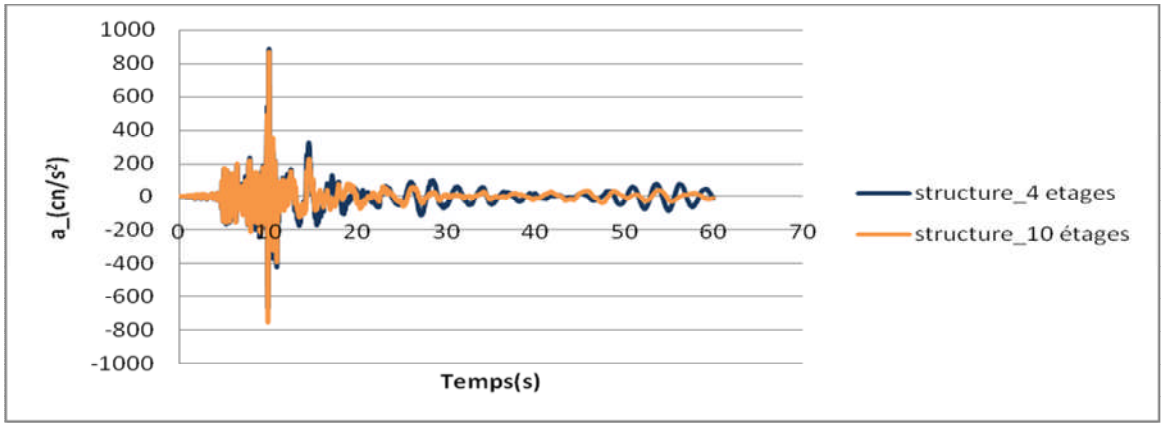

fig.7.6 : Comparaison entre les accélérations du dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Northridge (modèle linéaire).

La figure.7.7 montre une comparaison entre les efforts tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de Northridge. Les remarques tirées de cette comparaison sont :

- Pour la structure à 4 étages, l'effort tranchant maximal et le déplacement maximal sont obtenus pour le même temps d'excitation.
- Pour la structure à 10 étages, le modèle linéaire d'isolateur a donné un effort tranchant maximal inférieur à celui obtenu pour la structure à 4 étages. Cela est une contradiction à la pratique ; (structure à base fixe, l'effort tranchant à la base augmente avec le nombre d'étages). La raison explique ce résultat est : pour la structure de 10 étages, le système d'isolation parasismique LRB travaille avec grande vitesse ce qui produit une grande dissipation d'énergie accompagnée d'une diminution des efforts tranchants jusqu'à la période de 30sec ; or les efforts tranchants sont presque nuls, et après cette période, le système d'isolation arrive à réguler les efforts dans les périodes restantes.

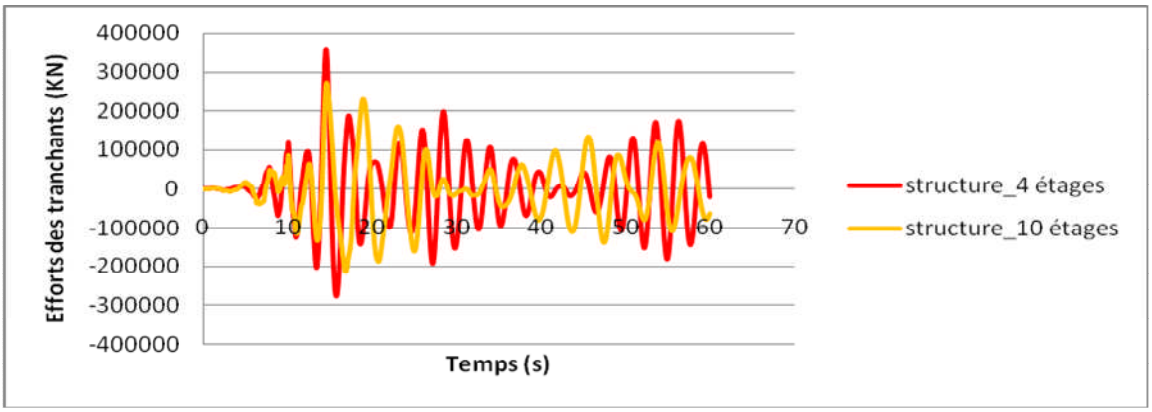

Fig.7.7 : Comparaison entre les efforts tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Northridge (modèle linéaire).

La figure 7.8 ci-dessous montre une comparaison entre les déplacements de dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de l'enregistrement Loma Prieta.

Le déplacement maximale de la structure de 4 étages est égal à 18.464 cm pour une durée (T=7.88sec), pour la structure de 10 étages le déplacement maximale est égale à 21.605 pour une durée (T=3.80sec).

On résulte que sous une accélération de sol inférieur à celle de Northridge les paramètres de modèle linéaire d'isolateur obtenus de la structure de 10 étages, les déplacements sont amplifiés par rapport à ceux de la structure de 4 étages pendant toute la durée de sollicitation.

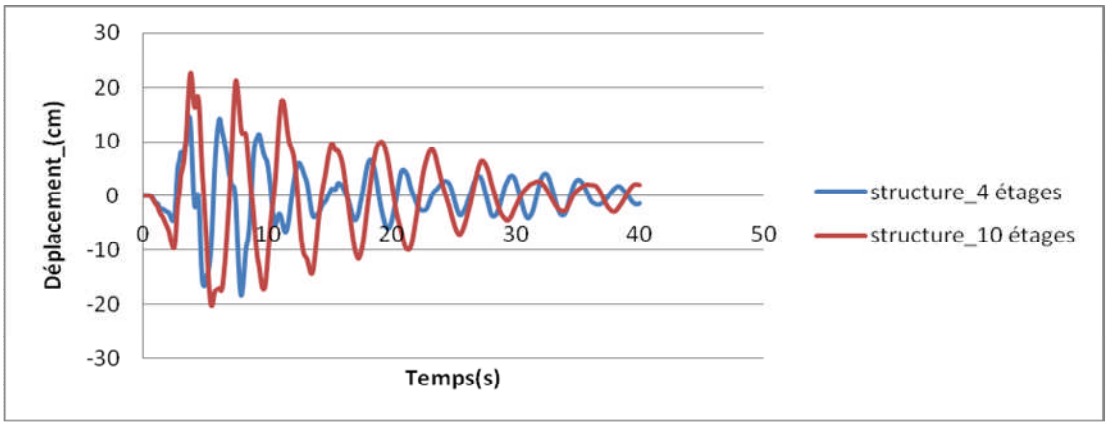

Fig7.8 : comparaison entre déplacement du dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Loma Prieta (modèle linéaire).

La figure .7.9 illustre une comparaison des accélérations des derniers niveaux de la structure de 4 et de 10 étages sous accélération de sol de séisme de Loma Prieta égal à 469.384 cm/s^2.

- L'accélération maximale de la structure de 4 étages égale à 489.055 cm/s^2 pour une durée (T=3.80 sec),
- L'accélération maximale de la structure de 10 est égale à 420.776 cm/s^2 pour une durée (T=4.36sec).

On remarque qu'avec les paramètres de modèle linéaire d'isolateur LRB (Lead Rubber Bearing) on a obtenu une diminution des accélérations de dernier niveau de la structure de 10 étages par rapport à l'autre.

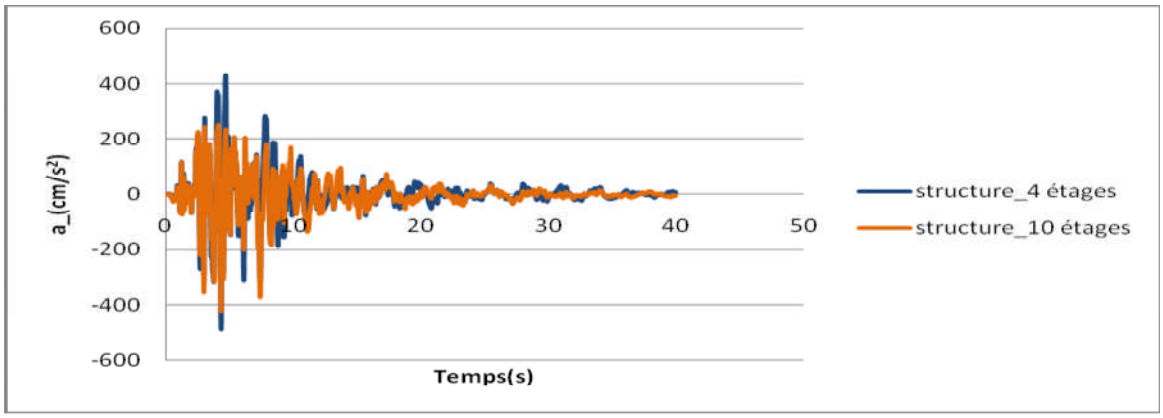

Fig.7.9 : comparaison entre accélération de dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Loma Prieta (modèle linéaire).

La figure 7.10 représente une comparaison des efforts tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de Loma Prieta. Les remarques tirées de cette comparaison sont :

- Les efforts tranchants de dernier niveau de structure de 10 étages supérieur à ceux de 4 étages par ce que les efforts tranchants s'augmentent en parallèle avec les déplacements.
- La sollicitation exercée sur le système d'isolation parasismique LRB (Lead Rubber Bearing) produit une dissipation d'énergie moins à celle obtenue par l'enregistrement de Northridge, avec une diminution régulière de l'incrément des efforts tranchants pendant toute la durée de sollicitation.

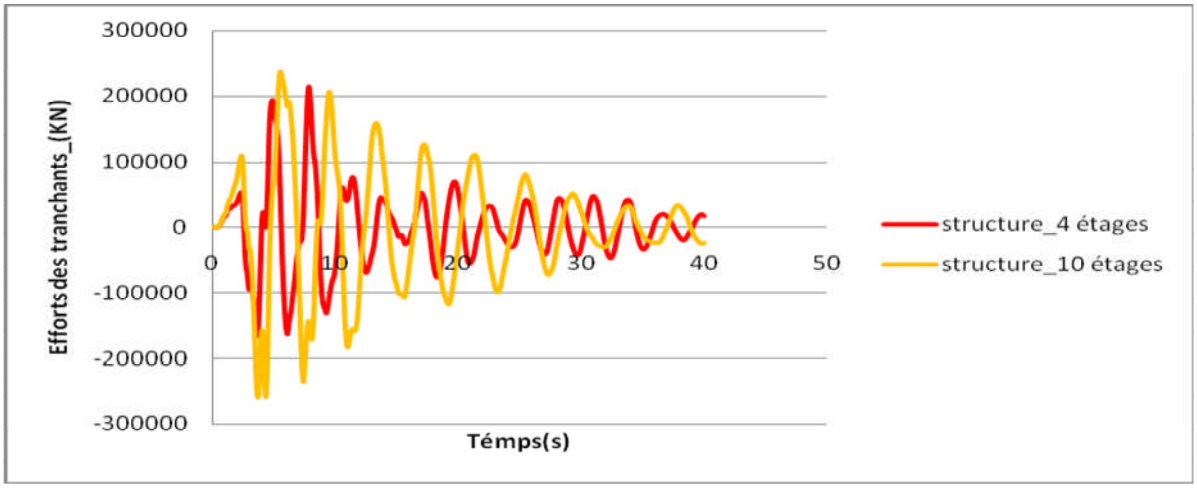

Fig.7.10 : comparaison entre les efforts des tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Loma Prieta (modèle linéaire).

La figure .7.11 ci-dessous montre une comparaison des déplacements de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Landers.

Le déplacement maximal de première structure égale à 26.128 cm pour durée (T=30.22sec), et pour la deuxième structure le déplacement maximal égale à 37.891cm pour durée (T=20.72sec).

On résulte que pour une accélération de sol faible par rapport à l'accélération de Loma Prieta, la structure de 10 étages donne une amplification des déplacements en plus.

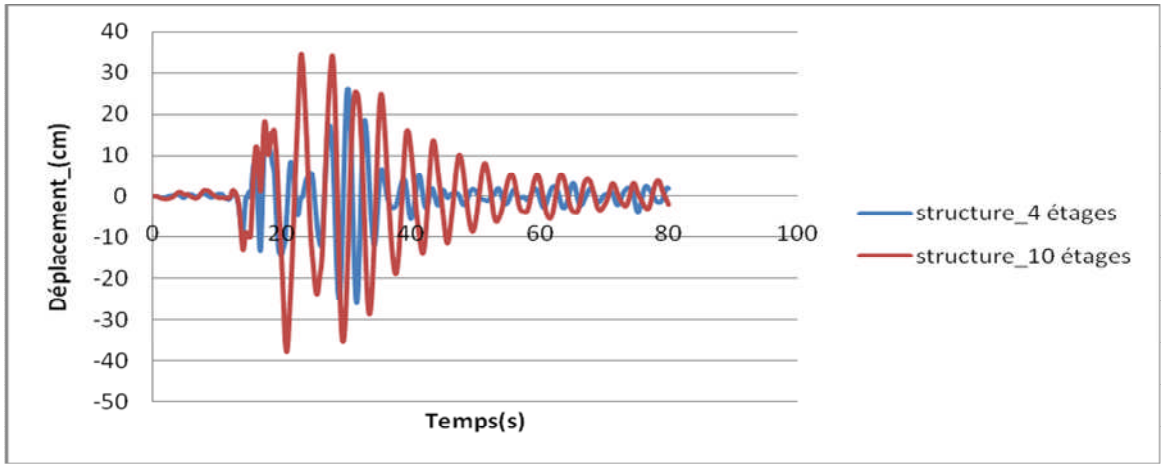

Fig.7.11 : comparaison déplacement dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Landers (modèle linéaire).

La figure .7.12 montre une comparaison des accélérations des derniers niveaux de la structure de 4 et de 10 étages sous accélération de sol de séisme de Landers égal à 240.016 cm/s^2.

- L'accélération maximale de la structure de 4 étages égale à 311.6701cm/s^2 pour une durée (T=16.64 sec).
- L'accélération maximale de dernier niveau de structure de 10 étages égale à 235.776 cm/s^2 pour une durée (T=4.36sec).

On remarque que les paramètres de modèle linéaire pour l'isolateur LRB (Lead Rubber Bearing) ont donné une diminution de l'accélération de dernier niveau de la structure de 10 étages par rapport à l'autre.

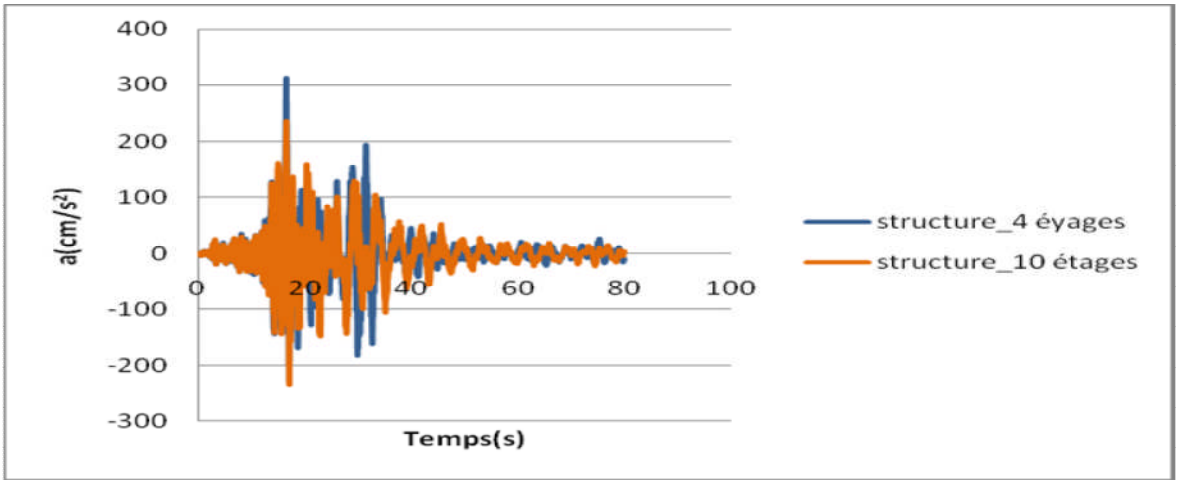

Fig.7.12 : comparaison des accélérations dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Landers (modèle linéaire).

La figure .7.13 illustre une comparaison entre les efforts des tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de Landers. Les remarques tirées de cette comparaison sont :

- Pour la structure à 4 étages, l'effort tranchant maximal et le déplacement maximal sont obtenus pour le même temps d'excitation.
- Par ailleurs l'excitation dans système d'isolation parasismique LRB (Lead Rubber Bearing) produit une dissipation faible pour les premiers 10 seconds, avec augmentation rapide des efforts tranchants entre (10 et 30 sec), et après une durée de30 sec , l'isolateur arrive à réguler l'incrément entre les efforts dans les périodes restantes.

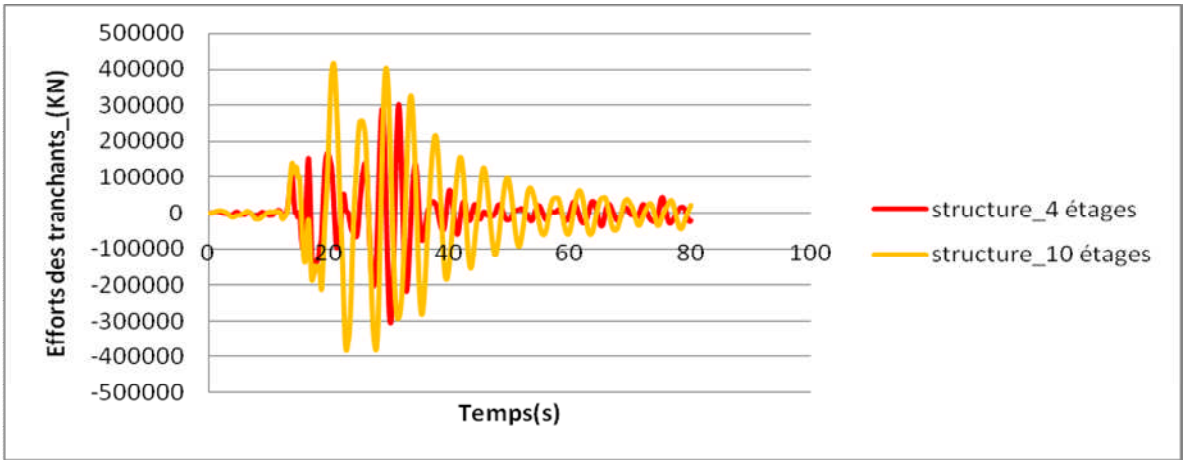

Fig.7.13 : comparaison des efforts des tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de Landers (modèle linéaire).

La figure 7.14 montre une comparaison entre les déplacements de dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de l'EL Centro.

Le déplacement maximal de structure de 4 étages est égal à 104.611cm pour une durée (T=8.69sec), et pour la structure de 10 étages le déplacement maximal est égal à 164.762 cm pour une durée (T=9.54sec).

On observe que les déplacements pour deux structure ont dépassé 1 mètre à la durée de sollicitation égale à 39,10 sec avec un pas (incrément) de temps 0.01 sec , ces valeurs sont faibles par rapport aux celles des autres sollicitations.

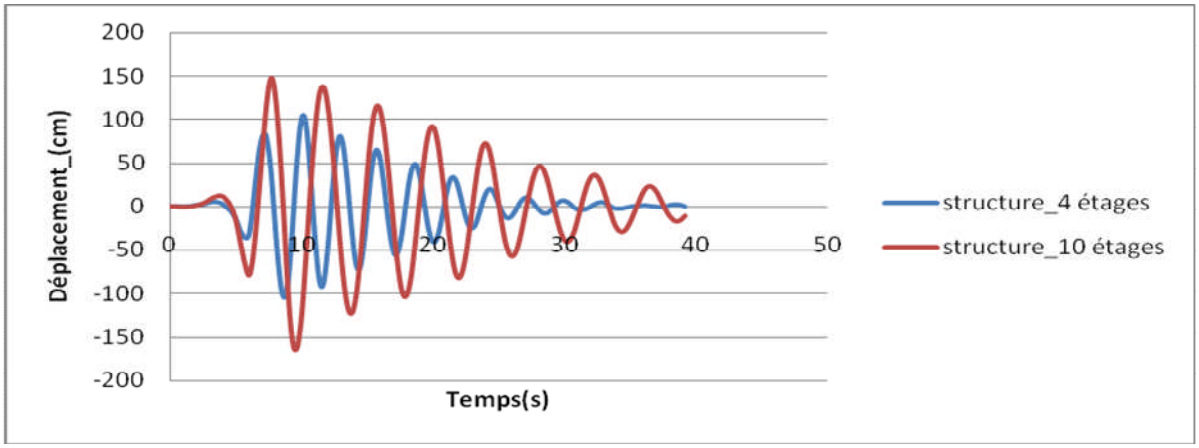

Fig.7.14 : comparaison déplacement dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de l'ELCentro (modèle linéaire).

La figure.7.15 montre une comparaison des accélérations des derniers niveaux de la structure de 4 et de 10 étages sous accélération de sol de séisme de l'EL Centro égal à 428.016 cm/s^2 .

- L'accélération maximale de la structure de 4 étages égale à pour une dur591.228cm/s^2 en (T=10.06 sec).
- L'accélération maximal de dernier niveau de la structure de 10 étages égale à 598.871cm/s^2 pour une durée (T=6.10sec).

On remarque que le dernier niveau de la structure de 10 étages, ayant une légère amplification des accélérations par rapport à l'autre.

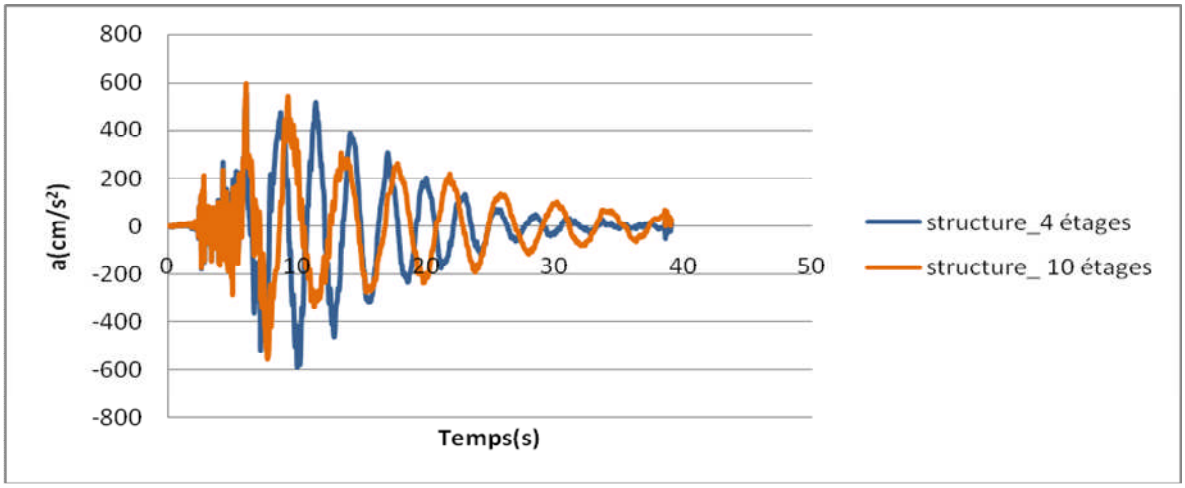

Fig.7.15 : comparaison les accélérations dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de l'ELCentro (modèle linéaire).

La figure .7.16 montre une comparaison entre les efforts des tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet sismique de L'EL Centro.

- On observe que le système d'isolation parasismique LRB (Lead Rubber Bearing) travaille avec une faible vitesse ce qui produit une dissipation d'énergie régulière accompagnée d'une diminution des efforts tranchants à partir de10 sec jusqu'à la fin de la durée de sollicitation.

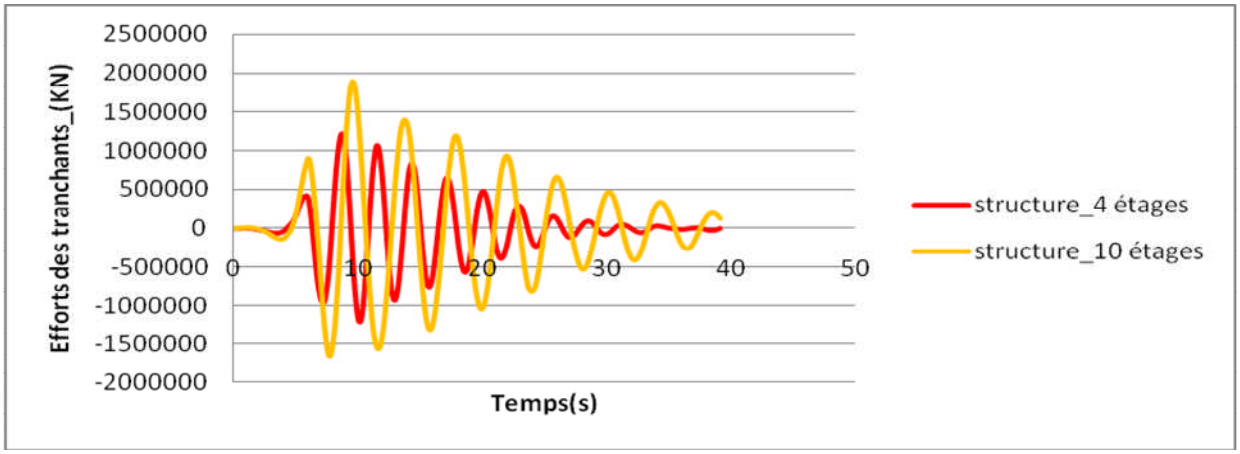

Fig.7.16 : comparaison entre les efforts tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous sollicitation sismique de l'ELCentro (modèle linéaire).

7.2.2. Structure de 4 et 10 étages (comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire)

Les figures (7.17 et 7.18), illustrent une comparaison entre le modèle bilinéaire et le modèle linéaire en fonction des déplacements de dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet de séisme de Northridge, Loma Prieta , Landers et EL Centro.

On observe que le rapport des déplacements maximaux, entre les deux modèles, s'accroit par une valeur égal à 0.918, pour la structure de 4 étages dans l'exemple de séisme Northridge et par une valeur égal à 0.933, pour la structure de 10 étages dans l'exemple de séisme de l'EL Centro ; d'une part. Et d'autre part ce rapport se diminue par une valeur égal à 1.046, pour la structure de 4 étages dans l'exemple de séisme Landers et par une valeur égal à 1.025, pour la structure de 10 étages dans l'exemple de séisme de Loma Prieta, voir Tableau 7.4.

On conclut qu'on peut représenter le système d'isolation parasismique LRB (Lead Rubber Bearing) par l'un des deux modèles respectivement bilinéaire et linéaire parce que les déplacements obtenus des deux modèles sont presque identique ainsi que leurs allures d'allongement de la superstructure.

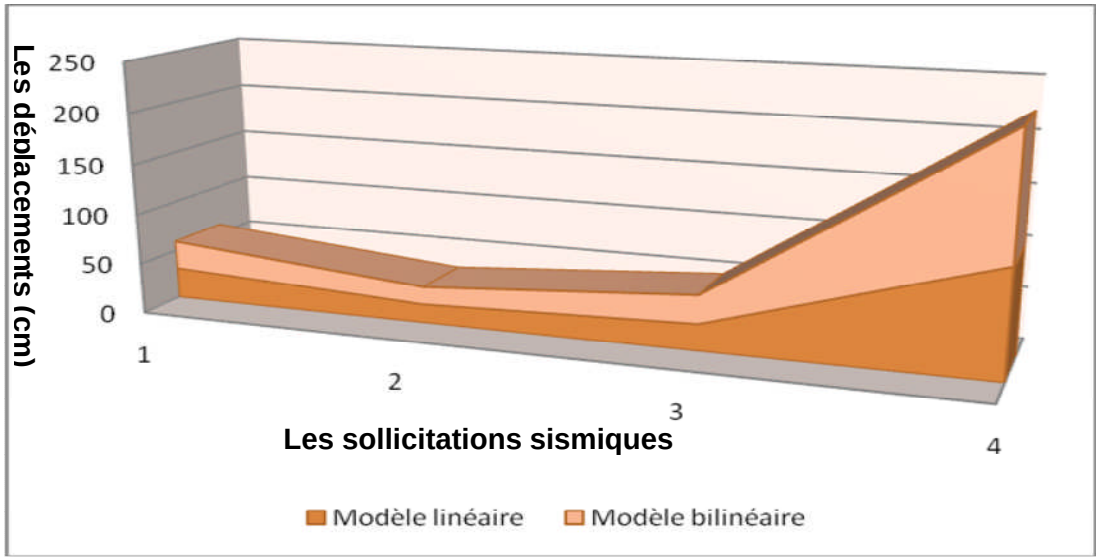

Fig.7.17 : comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire pour les déplacements de dernier niveau de la structure de 4 étages

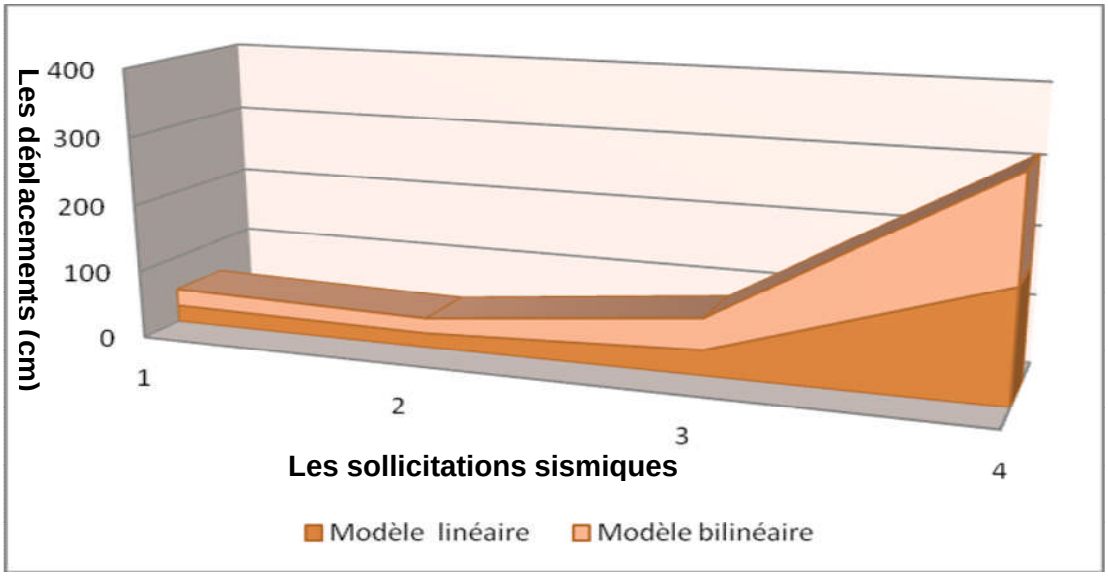

Fig.7.18 : comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire pour les déplacements de dernier niveau de la structure de 10 étages

	Sollicitations sismiques	Déplacements (cm)	Accélération (cm /s^2)	Efforts tranchants (KN)	Rapports entre le modèle non linéaire et le modèle linéaire		
					Dép	Acc	Eff. T
Structure de 4 étages	Northridge	28.372	685.415	283692.618	0.918	0.772	0.079
	Loma Prieta	17.364	500.848	174253.741	0.940	1.024	0.810
	Landers	27.326	294.026	273487.248	1.046	0.943	0.902
	EL Centro	121.213	602.832	1212142.646	1.159	1.020	0.998
Structure de 10 étages	Northridge	25.832	871.081	260488.7625	1.031	1.004	0.096
	Loma Prieta	22.151	436.259	261303.217	1.025	1.034	0.999
	Landers	45.633	233.327	473110.71	1.204	0.990	1.137
	EL Centro	152.059	591.041	1613307.829	0.933	0.987	0.085

Tableau.7.4 : Résultats d'analyse de structure avec isolation parasismique de 4 et de10 étages (modèle non linéaire)

Les figures (7.19 et 7.20), représentent une comparaison entre le modèle bilinéaire et le modèle linéaire en fonction des accélérations de dernier niveau de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet de séisme de Northridge, Loma Prieta ,Landers et EL Centro.

On observe que le rapport des accélérations maximales, entre les deux modèles, s'accroit par une valeur égal à 0.943,, pour la structure de 4 étages dans l'exemple de séisme Landers et par une valeur égal à 0.987, pour la structure de 10 étages dans l'exemple de séisme de l'EL Centro ; d'une part. Et d'autre part ce rapport se diminue par une valeur égal à 1.024, pour la structure de 4 étages dans l'exemple de séisme Loma Prieta et par une valeur égal à 1.004, pour la structure de 10 étages dans l'exemple de séisme Northridge, voir Tableau 7.4.

On résulte que, d'après les rapports entre les valeurs produites par le modèle bilinéaire et le modèle linéaire d'isolateur parasismique LRB (Lead Rubber Bearing), ces deux modèles donnent à la superstructure les mêmes allures des amplifications des accélérations.

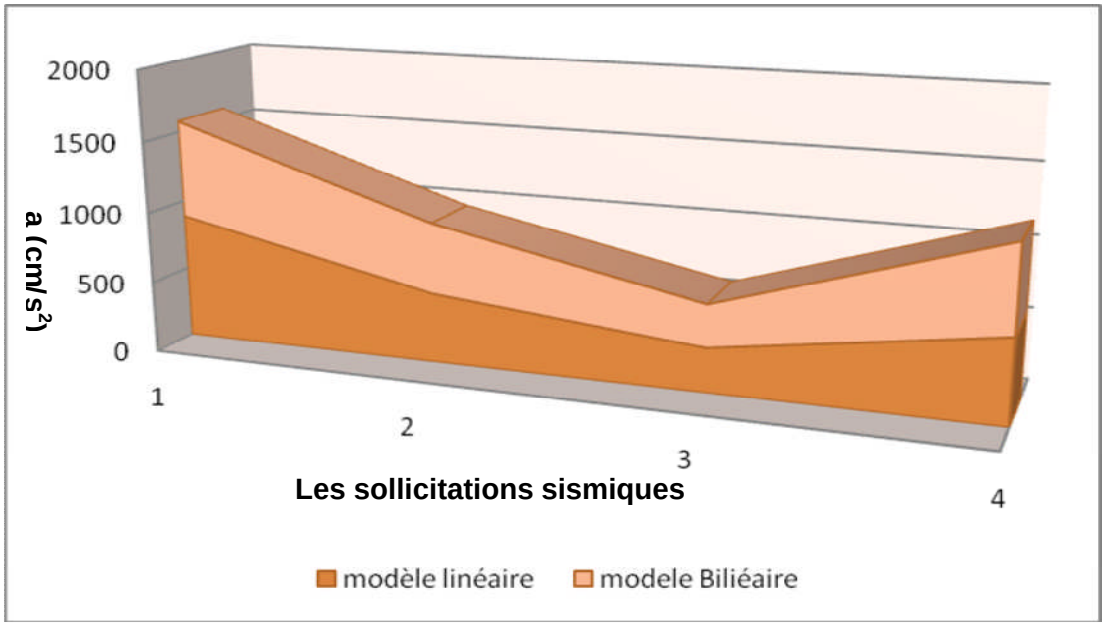

Fig.7.19 : comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire pour les accélérations de dernier niveau de la structure de 4 étages

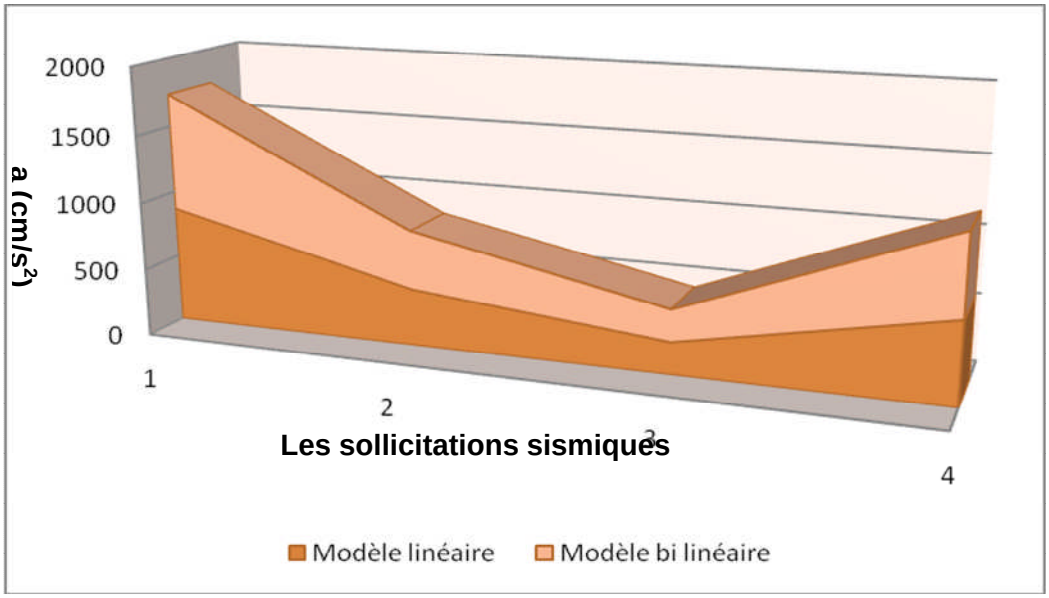

Fig.7.20 : comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire pour les accélérations de dernier niveau de la structure de 10 étages

Les figures (7.21 et 7.22), ces dessous montre une comparaison pour les deux modèles de système d'isolation parasismique en fonction des efforts tranchants à la base de la structure de 4 et de 10 étages sous l'effet de séisme de Northridge, Loma Prieta ,Landers et d'EL Centro.

On observe que le rapport des efforts tranchants maximaux, entre les deux modèles, s'accroit par une valeur égal à 0.810,, pour la structure de 4 étages dans l'exemple de séisme Loma Prieta et par une valeur égal à 0.096, pour la structure de 10 étages dans l'exemple de séisme de Northridge; d'une part. Et d'autre part ce rapport se diminue par une valeur égal à 1.137, pour la structure de 10 étages dans l'exemple de séisme Landers, voir Tableau 7.4.

On résulte que les allures des efforts tranchants, produits par les deux modèles respectivement bilinéaire et linéaire, sont identiques dans la superstructure pour les deux structures sous toutes les sollicitations sismiques.

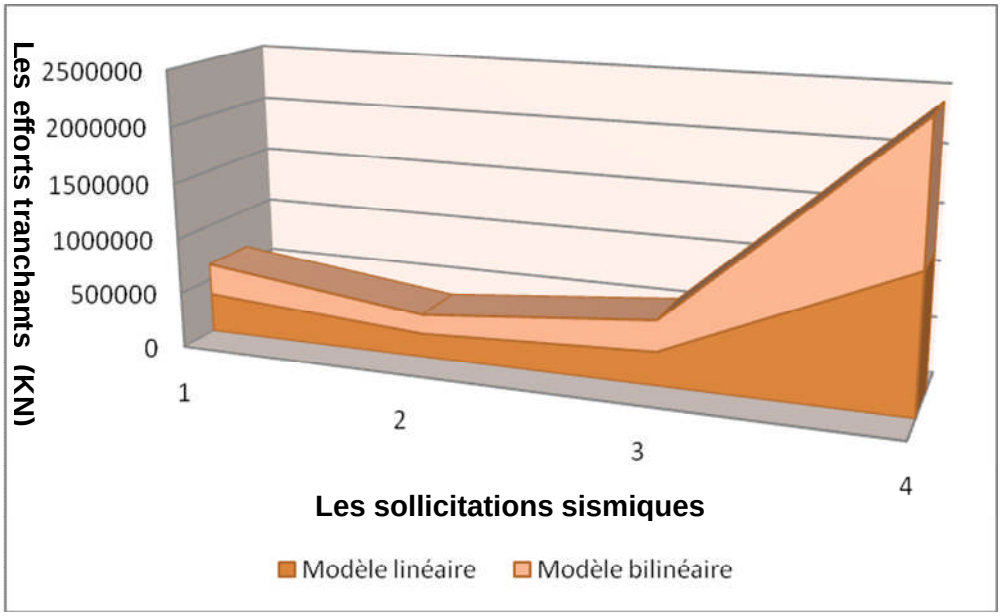

Fig.7.21 : comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire pour les efforts tranchants à la base de la structure de 4 étages

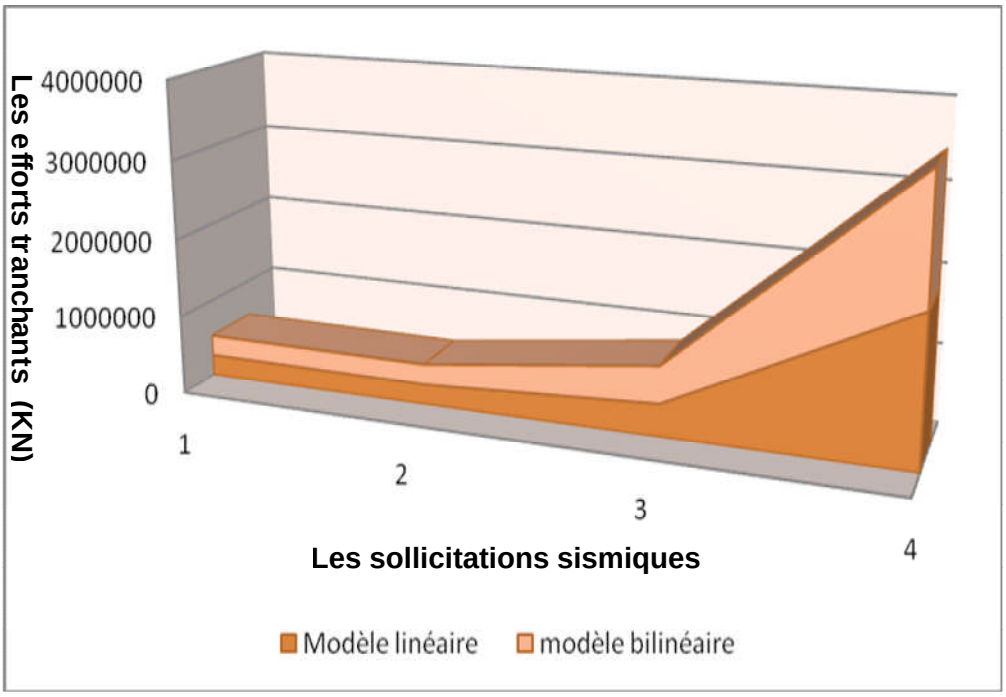

Fig.7.22 : comparaison entre le modèle linéaire et le modèle bilinéaire pour les efforts des tranchants à la base de la structure de 10 étages

Les résultats obtenus et les comparaisons effectuées sur les deux structures avec l'isolation parasismique par un modèle linéaire et non linéaire d'isolateur, nous permettent de déduire que ;

- Vu la diminution de l'influence d'isolateur parasismique en augmentant le nombre d'étages sous l'effet sismique de Northridge, on suggère de remplacer ce système par un autre ayant des propriétés mieux que celles du système LRB, ou bien opter de changer le système de contreventement de la structure de 10 étages par d'autres choix tel que des voiles.

- L'allongement de déplacement et la réduction de l'accélération de la superstructure sont en fonction des nombre d'étages sous les effets sismique de Loma Prieta, Landers et EL Centro.

- Les deux modèles respectivement linéaire et bilinéaire, ont la même allure de réponse sismique pour toutes les sollicitations sismiques bien que les incréments ne sont pas semblables, et que les valeurs de la réponse sismique pour les deux modèles ne sont pas identiques.

- Pour le séisme d'EL Centro caractérisé par une petite période ($T=39.1$ sec) et un pas de temps réduit (0.01 sec), l'isolateur parasismique LRB donne une meilleure réponse sismique pour la structure atteignant à 10 étages.