

REPUBLIQUE ALGRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté du Génie de la Construction  
Département de Génie Civil



# MEMOIRE DE MAGISTER

**SPÉCIALITÉ : GENIE CIVIL**  
**OPTION : STRUCTURES ET MATÉRIAUX**

## THEME

**Effet des séismes proches et lointains  
sur la performance sismique des  
structures auto-stables en béton armé**

*Présenté par:* M<sup>r</sup> HASSANI Karim

*Devant le jury composé de:*

M <sup>r</sup> BOUAFIA Youcef	Professeur - U.M.M.T.O	Président
M <sup>r</sup> HAMIZI Mohand	Maitre de conférences classe`A` - U.M.M.T.O	Rapporteur
M <sup>r</sup> AIT TAHAR Kamal	Professeur - U.M.M.T.O	Examineur
M <sup>r</sup> KACHI Mohand Said	Professeur - U.M.M.T.O	Examineur
M <sup>r</sup> AIT AIDER Hacene	Professeur - U.M.M.T.O	Examineur

*Soutenu le :* 01-12-2013

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à exprimer mes sincères remerciements et, aussi, ma profonde reconnaissance à Monsieur HAMIZI Mohand, Maître de conférences classe 'A' à l'U.M.M.T.O, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être mon directeur du mémoire, pour son soutien, sa volonté, et sa disponibilité tout en suivant de près l'élaboration de mon travail.

J'exprime ma sincère reconnaissance aux membres du jury, Professeur BOUAFIA Youcef, président, Professeur AIT TAHAR Kamel, Professeur KACHI Mohand Said, Maître de conférences classe 'A' AIT AIDER Hocine, examinateurs.

J'ai également une pensée affectueuse pour tous ceux qui, très récemment ou il y a bien plus longtemps, ont permis à leur manière l'aboutissement de ce travail, les enseignants m'ayant donné envie de faire de recherches à leur tête, Monsieur KAHIL Amar qui m'ont permis de tenir bon dans les moments difficiles, il a su me soutenir et m'encourager, les personnes m'ayant fait partager leur expérience et/ou guidé vers ce sujet.

Je terminerai en remerciant tous ceux qui m'ont toujours soutenu, que ce soit dans mon travail ou dans la vie de tous les jours : mes parents, mes frères et sœurs, mes amis, et tous les autres ainsi que mes collègues de travail. Enfin, je ne peux qu'offrir une dédicace spéciale à ma fiancée Hania et sa famille BELAID pour leur soutien et leur patience, durant tout le temps qu'a pris ce mémoire.

## **Résumé**

Le comportement des structures sous des séismes proches et lointains est très différent surtout en termes de dommages, En effet plusieurs paramètres peuvent influencer ce comportement parmi lequel la distance focale.

Afin de cerner le problème du comportement des structures à ossature auto-stables en béton armé sous séismes lointains et proches et de mieux les étudier en utilisant la méthode de performance sismique. En effet, la même structure ne réagit pas de la même façon lorsqu'elle subit un séisme proche ou lointain. Les chargements qui sont introduits sous forme d'accélérogrammes et de spectres de réponse réglementaire ont des incidences différentes sur le comportement des bâtiments étudiés.

Cette étude nous permet d'évaluer les points de performance et les dommages de différents bâtiments.

**Mots clés** : Signal sismique, accélérogramme, séisme proche, séisme lointain, typologie, performance sismique.

## **Summary**

The behavior of the structures under close and remote seisms is very different especially in term from damage, Indeed several parameters can influence this behavior among which the focal distance.

In order to determine the problem of the behavior of the self-stabilizing structures with concrete framework reinforced under remote and close seisms and to better study them by using the method of seismic performance.Indeed, the same structure does not react in the same way when it undergoes a close or remote seism.The loadings which are introduced in the form of accélérogrammes and of spectra of lawful answer have incidences different on the behavior from the studied buildings.

This study enables us to evaluate the points of performance and the damage of various buildings.

**Key words**: Seismic signal, accélérogramme, close seism, remote seism, typology, seismic performance.

<b><i>CHAPITRE I : Introduction générale</i></b>	<b>12</b>
<b><i>CHAPITRE II : Définitions des paramètres d'évaluation d'un séisme</i></b>	<b>18</b>
II.1.Introduction	18
II.2. Mouvement sismique	18
II.2.1. Energie E	18
II.2.2. La Magnitude M	18
II.2.3. L'intensité I	19
II.3. Représentation et enregistrement de signal sismique	19
II.3.1. Notions de période et d'amplitude d'une onde	19
II.3.2. Signal sismique	20
II.3.3. Modification des ondes par les sites	20
II.3.4. Identification du signal sismique	21
II.4. Enregistrement du signal sismique	22
II.4.1. Les accélérogrammes	22
II.4.1.1. Facteurs à considérer pour le choix d'un accélérogramme	23
II.4.1.2. Les effets de propagation des ondes sismiques	24
II.4.2. Les spectres de réponse	26
II.4.2.1. Spectre de réponse élastique	27
II.4.2.1.1. Spectre lissé	28
II.4.2.1.2. Spectre normalisé	28
II.4.2.2. Spectre inélastique	29
II.4.2.3. Spectre de capacité	30
II.5. Notions sur la performance sismique	31
II.5.1. Niveaux de performance	32
II.5.2. Cohérence dans la conception parasismique	32
II.5.3. Critères de dimensionnement pour trois niveaux de performance	33
II.5.3.1. Critère de rigidité	33
II.5.3.2. Critère de résistance	33
II.5.3.3. Critère de ductilité	34
II.6. Séisme proche et lointain	35
II.6.1.Définition	35
II.6.2.Comportement structurel vis-à-vis des séismes proche et lointain	36
II.6.2.1. La distance épacentrale	36
II.6.2.2. Le mode de vibration	36
II.6.2.3. L'influence des composantes verticales	36
II.6.2.4. Demande de ductilité	37
II.6.2.5. L'influence de vitesse de sol	37
II.6.2.6. La durée du séisme	38
II.6.3. Les différentes caractéristiques des séismes proches et lointains	38
II.6. 3.1. L'influence de la force géologique	38
II.6. 3.2. Le type du mouvement	39
II.6. 3.3. La quantité verticale de composants	39
II.6. 3.4. Degré de vitesse	40
<b><i>CHAPITRE III : Formation de spectres de réponse pour le séisme proche et lointain</i></b>	<b>42</b>
III.1.Introduction	42
III.2. Enregistrements des séismes (proches et lointains)	42

III.3. Transformation des données accélérométriques enregistrées en spectres de réponse	44
III.4. Formation de spectre de réponse élastique et des spectres réduits en fonction des enregistrements	50
III.4.1. Formation des spectres de réponse pour le séisme lointain (AZAZGA)	51
III.4.1.1. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement Est-Ouest	51
III.4.1.2. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement Nord - Sud	51
III.4.2. Formation des spectres de réponse pour le séisme proche (BOUMERDES)	52
III.4.2.1. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement Est-Ouest	52
III.4.2.2. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement Nord-Sud	52
III.5. Conclusion	53
<b>CHAPITRE IV : Méthode d'estimation du point de performance</b>	<b>55</b>
IV.1. Introduction	55
IV.2. L'analyse PUSHOVER	55
IV.2.1. Introduction	55
IV.2.2. Définition de l'analyse PUSHOVER	55
IV.2.3. Origine de l'analyse PUSHOVER	57
IV.2.4. But de l'analyse PUSHOVER	57
IV.2.5. Avantages, Inconvénients et Limites de la méthode	58
IV.3. Evaluation du point de performance	59
IV.3.1. Approche globale du règlement ATC40	59
IV.3.2. Etapes de la méthode choisie dans l'ATC40	59
IV.3.2.1. La courbe de capacité	60
IV.3.2.2. La demande sismique	61
IV.3.3. Calcul du point de performance selon ATC40 (procédure C)	62
IV.3.4. Etat de déplacement de la structure	66
IV.3.4.1. La demande est inférieure à la capacité	66
IV.3.4.2. La demande est égale à la capacité	67
IV.3.4.3. La demande est supérieure à la capacité	67
IV.3.5. Estimation des degrés des dommages	68
IV.3.5.1. L'échelle de dommage utilisée	68
IV.3.5.2. Evaluation des dommages	68
IV.4. Conclusion	69
<b>CHAPITRE V : Application de la méthode de performance sismique sur les bâtiments auto stables</b>	<b>71</b>
V.1. Introduction	71
V.2. Présentation et description des bâtiments	71
V.3. Caractéristiques géométriques et dynamiques des bâtiments	71
V.3.1. Caractéristiques géométriques des bâtiments	71
V.3.2. Caractéristiques dynamiques des bâtiments	74
V.3.2.1. Les masses prises en compte	74
V.3.2.2. La déformée selon le premier mode de vibration	74
V.3.3. Calcul du facteur de participation modale et du coefficient de masse modale selon les	75
V.4. Modélisation non linéaire des bâtiments	76
V.4.1. Ferrailage des bâtiments	76
V.4.2. Détermination des courbes de capacité	76
V.4.3. Tracé des courbes de capacité et représentation bilinéaire des bâtiments en fonction des déplacements	77
V.5. Evaluation des points de performance des bâtiments	80
V.5.1. Etudes des bâtiments sous l'enregistrement AZAZGA (Est-Ouest)	80
V.5.1.1. Cas du bâtiment(R +3)	80

V.5.1.1.1. Calcul de l'amortissement effectif	81
V.5.1.1.2. Détermination du point de performance	81
V.5.1.2. Etude de cas du Bâtiment(R+4), bâtiment(R+5), bâtiment(R+6)	83
V.5.1.2.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance	83
V.5.1.2.2. Degrés des dommages	83
V.5.2. Etudes des bâtiments sous l'enregistrement AZAZGA (Nord - Sud)	86
V.5.2.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance	86
V.5.2.2. Degrés des dommages	86
V.5.2.3. Commentaires et conclusions	88
V.5.3. Etudes des bâtiments suivant l'enregistrement BOUMERDES (Est - Ouest)	88
V.5.3.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance	88
V.5.3.2. Degrés des dommages	89
V.5.4. Etudes des bâtiments suivant l'enregistrement BOUMERDES (Nord - Sud)	91
V.5.4.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance	91
V.5.4.2. Les points de performance et les degrés des dommages des bâtiments	92
V.5.4.3. Commentaires et conclusion	93
V.5.5. Evaluation des points de performance sismique avec les spectres de réponse réglementaire(RPA)	94
V.5.5.1. Représentation spectrale des séismes (lointain et proche)	94
V.5.5.2. Détermination des amortissements effectifs $\zeta_{eff}$ et les points de point de performance	95
V.5.5.2.1. Cas du séisme lointain (AZAZGA)	95
V.5.5.2.2. Cas du séisme proche (BOUMERDES)	97
V.5.5.3. Commentaires et conclusion	99
V.6. Présentation et interprétation des résultats	99
V.6.1. Bâtiment (R+3)	100
V.6.2. Analyse et commentaire	101
V.6.3. Bâtiment (R+4)	103
V.6.4. Analyse et commentaire	104
V.6.5. Bâtiment (R+5)	106
V.6.6. Analyse et commentaire	107
V.6.7. Bâtiment (R+6)	109
V.6.8. Analyse et commentaire	110
V.6.9. Conclusion	111
V.7. La comparaison entre les enregistrements accélérométriques du séisme proche et lointain	111
V.8. Conclusion	113
V.9. La comparaison entre les enregistrements accélérométriques et réglementaires (RPA) du séisme proche et lointain	114
V.10. Conclusion	115
V.11. Le taux de variation du point de performance sismique	115
V.12. Commentaire	115
<b>Conclusion générale</b>	<b>117</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>119</b>
<b>Annexes</b>	<b>122</b>

## **LISTE DES FIGURES**

	<b><u>Pages</u></b>
Figure II.1. Mouvements et caractéristiques d'un séisme	19
Figure II.2. Mouvement ondulatoire	20
Figure II.3. L'addition d'oscillations simples plus ou moins énergétiques.	20
Figure II.4. Exemple d'enregistrements d'un même séisme en des points différents	21
Figure II.5 : Exemple d'accélérogramme (en cm/s <sup>2</sup> )	22
Figure II.6 : Accélérogrammes du séisme de Mexico	24
Figure II.7 : Allure schématique d'un sismogramme.	26
Figure II.8 : Séisme d'El Centro (Californie), composante nord-sud (d'après Blume, Newmark et Corning).	26
Figure II.9 : Spectre élastique correspondant à un PGA de 0.5g et 5% d'amortissement (Newmark-Hall 1982)	25
Figure II.10 : Spectre lissé	28
Figure II.11 : Exemple des spectres de réponse élastiques normalisés pour les différents sites de sols (à 5 % d'amortissement).	29
Figure II.12 : Spectres inélastiques	30
Figure II.13 : Spectres de capacité	31
Figure II. 14. La distance épacentrale	36
Figure II. 15. Le mode de vibration	36
Figure II. 16. Influence des composants verticaux	37
Figure II. 17. Demande de ductilité	37
Figure II. 18. L'influence de vitesse de sol	37
Figure II. 19. La durée du séisme	38
Figure II. 20. L'influence de la force géologique	39
Figure II. 21. Le type du mouvement	39
Figure II. 22. La quantité verticale de composants	39
Figure II. 23. Degré de vitesse	40
Figure III. 1 : Enregistrements de signaux sismiques traités par le CGS de 21/03/2003	43
Figure III. 2. 1 : Accélérogramme AZAZGA (E-O)	43
Figure III. 2. 2 : Accélérogramme AZAZGA (N-S)	43
Figure III. 2. 3 : Accélérogramme BOUMERDES (E-O)	44
Figure III. 2. 4 : Accélérogramme BOUMERDES (N-S)	44
Figure III.3 : Fenêtre du logiciel PRISM	45
Figure III.4 : Introduction des données accélérométriques (sous format. txt)	45
Figure III.5 : Choix des unités	46
Figure III.6: Les graphes de d'accélération, de déplacement et de vitesse spectraux	47
Figure III.7: Choix des axes de propriétés et introduction des paramètres nécessaires	48
Figure III.8 : Spectres de réponse en fonction du temps	48
Figure III.9 : Valeurs de spectre de réponse	49
Figure III.10 : Transformation de spectres de réponse sous forme (accélération - période) a la forme (accélération - déplacement)	49
Figure III.11,a) Enregistrement sismique (Accélérogramme Est-Ouest)	51
Figure III.11,b) Spectre de réponse élastique dans un diagramme $S_a=f(T)$	51
Figure III.11,c) Spectres de réponse réduits dans un diagramme $S_a=f(T)$	51
Figure III.12,a) Enregistrement sismique (Accélérogramme Nord-Sud)	51
Figure III.12,b) Spectre de réponse élastique dans un diagramme $S_a=f(T)$	51
Figure III.12,c) Spectres de réponse réduits dans un diagramme $S_a=f(T)$	51
Figure III.13,a) Enregistrement sismique (Accélérogramme Est-Ouest)	52
Figure III.13,b) Spectre de réponse élastique dans un diagramme $S_a=f(T)$	52

Figure III.13,c) Spectres de réponse réduits dans un diagramme $S_a=f(T)$	52
Figure III.14,a) Enregistrement sismique (Accélérogramme Sud-ouest)	52
Figure III.14,b) Spectre de réponse élastique dans un diagramme $S_a=f(T)$	52
Figure III.14,c) Spectres de réponse réduits dans un diagramme $S_a=f(T)$	52
Figure III.15.a) Conversion des spectres de réponse dans un diagramme $S_a = g(S_d)$ (AZAZGA "Est-Ouest")	53
Figure III.15.b) Conversion des spectres de réponse dans un diagramme $S_a = g(S_d)$ (AZAZGA "Nord-Sud")	53
Figure III.16.a) Conversion des spectres de réponse dans un diagramme $S_a = g(S_d)$ (BOUMERDES "Est-Ouest")	53
Figure III.16.b) Conversion des spectres de réponse dans un diagramme $S_a = g(S_d)$ (BOUMERDES "Nord-Sud")	53
Figure IV.1. Signification physique de la courbe de capacité	56
Figure IV.2. Niveaux d'endommagements décrits par une courbe de capacité	56
Figure IV.3. Détermination du point de performance	59
Figure IV.4. Courbe de capacité, format $(V-\Delta S)$	61
Figure IV.5. Courbe de capacité, format $(S_a-S_d)$	61
Figure IV.6. Le spectre de réponse, format $(S_a/g-T)$	62
Figure IV.7. Le spectre de réponse, format $(S_a-S_d)$	62
Figure IV.8. Spectres de réponse après la 2eme étape	63
Figure IV.9. Représentation de spectre de réponse correspondant a l'amortissement effectif ( $\zeta_{eff}$ )	63
Figure IV.10. Courbe de capacité après la 7ème étape	65
Figure IV.11. Evaluation du point de performance	66
Figure IV.12. Courbes capacité-demande (cas ou la demande est inférieure à la capacité)	66
Figure IV.13. Courbes capacité-demande (cas ou la demande est égale à la capacité)	67
Figure IV.14. Courbes capacité-demande (cas ou la demande est supérieure à la capacité)	67
Figure IV.15. Niveaux d'endommagement décrits par une courbe de capacité	68
Figure V.1. Vue en plan (x, y)	72
Figure V.2. Vue en 3D des bâtiments étudiés	73
Figure V. 3. Modèles d'oscillateurs des bâtiments	74
Figure V.4. La déformée selon le premier mode pour les différents bâtiments	75
Figure V.5. Courbes de capacité et les représentations bilinéaires des bâtiments (Direction xx)	78
Figure V.6. Courbes de capacité et les représentations bilinéaires des bâtiments (Direction yy)	79
Figure V.7. Représentation spectrale de la courbe de capacité du bâtiment (R+3) et les différents spectres de repense.	80
Figure V.8. Présentation de l'amortissement effectif $\zeta_{eff}$ et la détermination de du point de performance selon le sens (xx)	81
Figure V.9. Position du point de performance et évaluation des dommages selon le sens (xx)	82
Figure V.10. Position du point de performance et évaluation des dommages selon le sens (yy)	83
Figure V.11. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)	85
Figure V.12. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)	85
Figure V.13. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	85
Figure V.14. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	85
Figure V.15. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)	85
Figure V.16. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens	85

(yy)	
Figure V.17. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)	<b>86</b>
Figure V.18. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)	<b>86</b>
Figure V.19. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)	<b>87</b>
Figure V.20. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)	<b>87</b>
Figure V.21. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	<b>87</b>
Figure V.22. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	<b>87</b>
Figure V.23. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)	<b>87</b>
Figure V.24. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)	<b>87</b>
Figure V.25. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)	<b>89</b>
Figure V.26. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)	<b>89</b>
Figure V.27. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)	<b>90</b>
Figure V.28. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)	<b>90</b>
Figure V.29. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	<b>90</b>
Figure V.30. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	<b>90</b>
Figure V.31. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)	<b>90</b>
Figure V.32. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)	<b>90</b>
Figure V.33. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)	<b>92</b>
Figure V.34. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)	<b>92</b>
Figure V.35. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)	<b>92</b>
Figure V.36. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)	<b>92</b>
Figure V.37. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	<b>92</b>
Figure V.38. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	<b>92</b>
Figure V.39. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	<b>93</b>
Figure V.40. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	<b>93</b>
Figure V.41. Représentation des spectres de réponse du séisme lointain (AZAZGA)	<b>94</b>
Figure V.42. Représentation des spectres de réponse du séisme proche (BOUMERDES)	<b>94</b>

Figure V.43. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)	<b>95</b>
Figure V.44. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)	<b>95</b>
Figure V.45. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)	<b>96</b>
Figure V.46. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)	<b>96</b>
Figure V.47. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	<b>96</b>
Figure V.48. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	<b>96</b>
Figure V.49. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)	<b>96</b>
Figure V.50. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)	<b>96</b>
Figure V.51. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)	<b>97</b>
Figure V.52. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)	<b>97</b>
Figure V.53. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)	<b>98</b>
Figure V.54. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)	<b>98</b>
Figure V.55. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)	<b>98</b>
Figure V.56. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)	<b>98</b>
Figure V.57. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)	<b>98</b>
Figure V.58. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)	<b>98</b>
Figure V.59. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+3)	<b>101</b>
Figure V.60. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+4)	<b>104</b>
Figure V.61. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+5)	<b>107</b>
Figure V.62. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+6)	<b>110</b>
Figure V.63. Point de performance du bâtiment (R+3) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>112</b>
Figure V.64. Point de performance du bâtiment (R+4) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>112</b>
Figure V.65. Point de performance du bâtiment (R+5) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>112</b>
Figure V.66. Point de performance du bâtiment (R+6) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>112</b>
Figure V.67. Point de performance du bâtiment (R+3) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>114</b>
Figure V.68. Point de performance du bâtiment (R+4) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>114</b>
Figure V.69. Point de performance du bâtiment (R+5) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>114</b>
Figure V.70. Point de performance du bâtiment (R+6) selon les deux directions (xx) et (yy)	<b>114</b>

## **LISTE DES TABLES**

## **Pages**

Tableau II.1 : Comportement structurel du séisme proche et lointain	<b>38</b>
Tableau II.2 : Les différentes caractéristiques des séismes proches et lointains	<b>40</b>
Tableau IV.1. Degrés des dommages	<b>69</b>
Tableau V.1. Caractéristiques géométriques des bâtiments	<b>72</b>
Tableau V.2. Facteurs de participation modale (Pf1) et les coefficients de masse modale (?1)	<b>76</b>
Tableau V.3. Tableau de ferrailage des éléments des bâtiments	<b>76</b>
Tableau V.4. Les limites élastiques et ultimes du déplacement spectral et de l'accélération spectrale de différents bâtiments suivant (xx)	<b>78</b>
Tableau V.5. Les limites élastiques et ultimes du déplacement spectral et de l'accélération spectrale de différents bâtiments suivant (yy)	<b>79</b>
Tableau V.6. Les valeurs des points A et le point B	<b>80</b>
Tableau V.7. Evaluation des degrés de dommages (sens xx)	<b>82</b>
Tableau V.8. Evaluation des degrés de dommages (sens yy)	<b>82</b>
Tableau V.9. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)	<b>83</b>
Tableau V.10. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)	<b>83</b>
Tableau V.11. Evaluation des degrés de dommages (sens xx)	<b>84</b>
Tableau V.12. Evaluation des degrés de dommages (sens yy)	<b>84</b>
Tableau V.13. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)	<b>86</b>
Tableau V.14. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)	<b>86</b>
Tableau V.15. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)	<b>88</b>
Tableau V.16. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)	<b>88</b>
Tableau V.17. Evaluation des degrés de dommages (sens xx)	<b>89</b>
Tableau V.18. Evaluation des degrés de dommages (sens yy)	<b>89</b>
Tableau V.19. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)	<b>91</b>
Tableau V.20. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)	<b>91</b>
Tableau V.21. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)	<b>95</b>
Tableau V.22. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)	<b>95</b>
Tableau V.23. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)	<b>97</b>
Tableau V.24. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)	<b>97</b>
Tableau V.25. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+3)	<b>101</b>
Tableau V.26. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+3)	<b>104</b>
Tableau V.27. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+3)	<b>107</b>
Tableau V.28. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+3)	<b>110</b>
Tableau V.29. Le taux de variation du point de performance sismique entre les enregistrements accélérométriques de séisme proche et lointain dans les deux directions (xx) et (yy)	<b>115</b>
Tableau V.30. Le taux de variation du point de performance sismique entre les enregistrements accélérométriques et réglementaires (RPA) du séisme proche et lointain dans les deux directions (xx) et (yy)	<b>115</b>

# CHAPITRE I

## *Introduction générale*

## Introduction générale

Le mouvement sismique, correspond à la propagation d'une perturbation qui prend naissance à l'intérieur de l'écorce terrestre et elle est souvent de nature multiple et complexe. Le risque sismique reste l'un des aléas le plus imprévisible et aussi le plus destructif pour les bâtiments.

La ruine des structures de bâtiments due à ces secousses diffère d'un séisme à un autre pour plusieurs paramètres à savoir :

- Type du séisme ;
- Les caractéristiques du séisme (magnitude, énergie libérée et mécanisme focal) ;
- Les propriétés des milieux traversés ;
- La distance épacentrale (séisme proche, séisme lointain), ... etc.

La distinction entre les deux séismes (proche et lointain) à un rôle capital pour comprendre leurs impacts sur les structures de génie civil. On appelle un séisme proche, le séisme qui à une forte magnitude de surface, une distance focale et une profondeur inférieure à 10Km, et un contenu fréquentiel plus important et riche en hautes fréquences. Ce contenu est estimé par le rapport de l'accélération maximale du sol A (PGA: Pic Ground Acceleration) sur la vitesse maximale du sol V (PGV: Pic Ground Velocity) noté  $(\frac{A}{V})$ . Pour ce genre de séisme, les niveaux d'accélération sont, souvent, plus élevés, par contre les durées des séismes sont plus courte (de 2 à 5 secondes), la valeur  $(\frac{A}{V})$  est de l'ordre  $\gg 10$  [28]. Tout séisme ne vérifiant pas ces conditions est considéré comme un séisme lointain.

Dans le cas d'un séisme proche, le facteur de distance épacentrale à une influence considérable sur le comportement d'une structure vis-à-vis des sollicitations sismiques, de ce fait la ruine est généralement, importante et même souvent aggravée. Mais des cas particuliers peuvent se présenter dans certaines caractéristiques géologiques ou topographiques de site.

L'évaluation du comportement structurel sous séisme proche ou lointain est basée sur des enregistrements sous forme d'accélérogrammes qui représentent la variation de l'accélération dans une direction donnée en fonction du temps. Le choix d'accélérogramme dépend d'un certain nombre de paramètres [2], tels que :

- La magnitude du séisme ;
- La distance entre la structure et la source de libération d'énergie ;
- Les caractéristiques géologiques le long du trajet de la transmission d'onde ;
- Le mécanisme de source ;
- Les conditions locales du sol.

La représentation d'une action sismique dans le domaine du temps (accélérogramme) est insuffisante pour comprendre réellement le comportement d'une structure sous l'effet du séisme. Depuis l'introduction du spectre de réponse par Housner dans les années cinquante, son utilisation est devenu un outil indispensable dans le dimensionnement parasismique [5]. Actuellement, le spectre de réponse est une donnée essentielle dans le processus d'évaluation des forces sismiques dans la majorité des codes parasismiques.

Une autre définition peut être, aussi, donnée aux séismes proches et lointains à travers le comportement structurel.

Le comportement structurel de la construction sous un séisme proche est défini par [29] :

- L'influence des modes supérieurs de la structure ;
- L'apparition de l'effet de second ordre;
- La ductilité de la structure dépend de sa rigidité.

Par contre, le comportement structurel de la construction sous un séisme lointain est défini par [29] :

- L'influence du mode fondamental de la structure ;
- L'apparition de l'effet global de la structure ;
- La ductilité de la structure dépend de l'état de sol.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur le comportement des structures sous ces deux séismes:

- La première étude est celle réalisée par Pierre SOLLOGOUB et Ioannis POLITOPOULOS (Université Pierre et Marie Curie - PARIS VI) : Ces deux auteurs ont étudié la vulnérabilité des structures sous les séismes proches et lointains, ils se sont intéressés à la nocivité du signal et à la ductilité des structures [29]. Leurs résultats ont montré cette différence entre ces deux séismes.

- La deuxième étude est celle réalisée par Bourada Sofiane, BranciTaïeb, Tamahlout Mohammed (Université Hassiba Benbouali, Hay Es-salem BP 151, Chlef), elle traite de l'évaluation de la réponse sismique d'une structure auto-stable en béton armé sous l'effet des séismes proches et lointains [30]. Ces auteurs se sont intéressés principalement aux déplacements relatifs inter-étages des structures en utilisant la méthode temporelle non linéaire et la méthode N2 de l'Eurocode 8 [9].

- La troisième est celle réalisée par Laurine Grangier (Polytech Paris –UPMC), l'auteur a étudié la nocivité des séismes proches vis-à-vis des installations nucléaires.

Ces recherches ont aboutis aux résultats suivants :

- Le comportement de la structure est fragile sous l'effet du séisme proche et ductile sous l'effet du séisme lointain ;
- Sous l'action du séisme proche, les modes supérieurs de la structure sont les plus influencés. Par contre, sous l'action du séisme lointain c'est mode fondamental de la structure qui est le plus influencé ;
- La ductilité de la structure dépend de sa rigidité pour le séisme proche et de l'état de sol pour le séisme lointain.

L'évaluation du comportement d'une structure face à un tremblement de terre exige de mettre en place un outil permettant une analyse des structures au-delà du domaine élastique. Certaines règles, comme celles de l'ATC 40 [10] et celles de FEMA 273[31] recommandent l'utilisation des méthodes simplifiées non linéaires. Parmi ces méthodes, l'analyse 'PUSHOVER', qu'est une procédure statique non-linéaire dans laquelle la structure subit des charges latérales en augmentant l'intensité des charges jusqu'à ce que les modes de ruine commencent à apparaître dans la structure, est la plus usitée. Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme de courbes reliant l'effort tranchant à la base au déplacement du sommet de la structure [20].

Le but de cette recherche est de décrire le comportement réel de la structure et d'évaluer les différents paramètres en termes de sollicitations et déplacements, parmi ces objectifs nous pouvons citer :

1. L'estimation des déformations inélastiques dans les éléments afin de dissiper l'énergie communiquée à la structure par le mouvement du sol.
2. La détermination des sollicitations réelles sur les éléments fragiles, telles que les sollicitations sur les assemblages de contreventements, les sollicitations axiales sur les poteaux, les moments sur les jonctions poteaux-poutres, ainsi que les sollicitations de cisaillement sur les éléments.
3. Les conséquences de la détérioration de la résistance des éléments sur le comportement global de la structure, ce qui permet de déterminer les points forts et les points faibles de la structure.
4. L'identification des zones critiques dans lesquelles les déformations sont supposées être grandes.

5. L'identification des discontinuités de résistance en plan et en élévation qui entraînent des variations dans les caractéristiques dynamiques dans le domaine inélastique.
6. L'estimation des déplacements inter-étage qui tiennent compte des discontinuités de la rigidité et de la résistance qui peut être utilisée dans le contrôle de l'endommagement [20].

Notre travail s'inscrit dans la problématique du comportement non linéaire des structures auto-stables en béton armé soumises à des actions sismiques de différentes distances épacentrales. De façon plus claire, la problématique consiste à évaluer l'effet de deux séismes proches et lointains sur la performance des bâtiments auto-stables en béton armé, pour cela, nous avons :

1. Choisis quatre (04) accélérogrammes, deux sont de direction Nord-Sud et Est-Ouest pour le séisme proche, deux autres sont de direction Nord-Sud et Est-Ouest pour le séisme lointain.
2. Considéré les accélérations maximales correspond aux deux séismes en question.
3. Introduit ces accélérations maximales sous formes des spectres de réponse à l'aide d'outils informatiques.
4. Construit les courbes de capacités qui conviennent à chaque type de séisme.
5. Construit les demandes sismiques qui conviennent à chaque type de séisme.
6. Evalué les points performances sismiques des bâtiments pour les deux séismes.
7. Comparé entre les points de performance sismique des bâtiments obtenus par des spectres de réponse réglementaire (RPA) et ceux qui sont obtenus par les accélérogrammes.

L'objectif principal de cette étude est de comparer l'effet du mouvement sismique (proche et lointain) sur la performance sismique des structures. Cette étude est menée uniquement sur des ossatures auto-stables en béton armé. Ce choix est motivé par le fait que c'est la typologie la plus répondue dans notre pays. De plus le dernier séisme de BOUMERDES 2003 à montré que les bâtiments auto-stables ont des comportements différents selon leurs importances (hauteurs) et leurs distance par rapport à la source (épcentre). Pour cela, nous avons tester l'effet de séisme proche et lointain sur quatre (04) bâtiments implantés simultanément à Azzazga (wilaya de Tizi-Ouzou) qui est classée comme zone IIa (considérée comme zone de moyenne sismicité), et à BOUMERDES classée comme zone III (considérée comme zone de forte sismicité).

L'objectif secondaire est de comparer l'effet sismique sur ses mêmes structures, tout en considérant les accélérogrammes enregistrés lors de séisme de BOUMERDES et les spectres de réponses réglementaires (RPA99/V2003) élaborés pour les zones IIa et III.

Après avoir défini au premier lieu le mouvement sismique (proche et lointain, leurs comportements, les enregistrements des signaux sismiques, les caractérisations du mouvement de sols, les effets de propagation des ondes sismiques, les notions sur les spectres et la performance sismique), nous nous sommes attelés à l'introduction des données accélérométriques basées sur les accéléromètres installés respectivement à BOUMERDES (proche de l'épicentre) et à AZAZGA (loin de l'épicentre) dans les deux directions (Est-Ouest) et (Nord-Sud). Ces données sont, auparavant, traitées au centre de génie parasismique (CGS) d'Alger.

Pour évaluer les points de performance sismique ainsi que les degrés d'endommagement des structures, nous avons transféré les enregistrements sismiques (accélérogrammes) sous formes des courbes de demande sismique [Sd-Sa] en utilisant les outils informatiques (ETABS, PRISM, MATLAB et EXCEL) en respectant les étapes suivantes :

1. En première étape, nous avons travaillé sous l'effet de séismes issus de l'enregistrement Est-Ouest et Nord-Sud.
2. En deuxième étape nous avons soumis nos structures aux effets des deux séismes classés selon le RPA99/V2003 comme séisme proche et lointain.
3. En troisième étape, nous avons étudié l'impact de la variation de la hauteur des bâtiments ((R+3), (R+4), (R+5) et (R+6)) suivant les deux séismes en question.

Ces différentes évaluations vont nous permettre, certainement, de mieux comprendre le comportement et la résistance des bâtiments étudiés sous des séismes proches et lointains.

# CHAPITRE II

## Définitions des paramètres d'évaluation d'un séisme

## II.1.Introduction

Les séismes apparaissent comme une manifestation perceptible de phénomènes qui se poursuivent à l'échelle des temps géologiques. Il est malheureusement, certain, que les séismes continueront à surprendre l'homme. La seule chose que nous puissions prédire avec certitude, c'est que plus nous nous éloignons du dernier tremblement de terre, plus nous sommes proches du suivant.

Faute de pouvoir, et pour longtemps encore sans doute-prévoir ou empêcher les séismes, nous devons nous efforcer d'en limiter les dégâts. Cette démarche commence par la connaissance détaillée de l'action sismique à savoir : la naissance du séisme, la formation et la propagation des ondes, la représentativité des accélérogrammes et des spectres associés, etc. L'aboutissement de toutes ces connaissances nous amènerons certainement à une construction parasismique.

## II.2. Mouvement sismique

Le tremblement de terre correspond à une vibration transitoire du sol provoquée par une libération soudaine de l'énergie de déformation accumulée dans la croûte terrestre ou dans la couche sous-jacente (Figure II.1). Le mouvement sismique est souvent caractérisé par :

### II.2.1. L'énergie E

Pour évaluer l'énergie émise au cours d'un séisme donnée, il suffit en théorie de déterminer l'énergie contenue dans les ondes P et S enregistrées en une station, en tenant compte du mécanisme focal et des propriétés des milieux traversés [13].

La formule qui permet de relier la magnitude à l'énergie s'écrit de la façon suite :

$$\log E_{\text{joules}} = 4,8 + 1,5 M \quad (\text{II.1})$$

Avec M : Magnitude des séismes superficiels à partir des ondes de surface.

E : C'est énergie libérée au foyer (hypocentre).

### II.2.2. La Magnitude M

La notion de magnitude a été introduite en 1935 par le sismologue américain RICHTER. Elle caractérise l'énergie libérée par la rupture de la faille dans la zone épiscopentrale.

En pratique, la magnitude d'une secousse sismique est déterminée d'après les enregistrements des mouvements du sol effectués en un certain nombre de points d'observation situés à des distances quelconques de l'épicentre.

La magnitude est calculée soit à partir de l'amplitude du signal enregistrée par un sismomètre, soit à partir de la durée du signal lue sur le sismogramme. Son calcul nécessite plusieurs corrélations tenant compte du type de sismographe utilisé, de la distance entre le séisme et la station d'enregistrement, de la profondeur

du séisme, de la nature du sous-sol où se trouve la station d'enregistrement. Les corrélations permettent de calculer partout dans le monde la même magnitude pour un même séisme.

### II.2.3. L'intensité I (échelle de MERCALLI)

L'intensité I est mesurée par l'importance des secousses perçues, donc des dégâts occasionnés, qui seront principalement en fonction de la distance par rapport à l'épicentre et de la profondeur du foyer, mais aussi de la vulnérabilité des constructions [14] (Figure II.1).

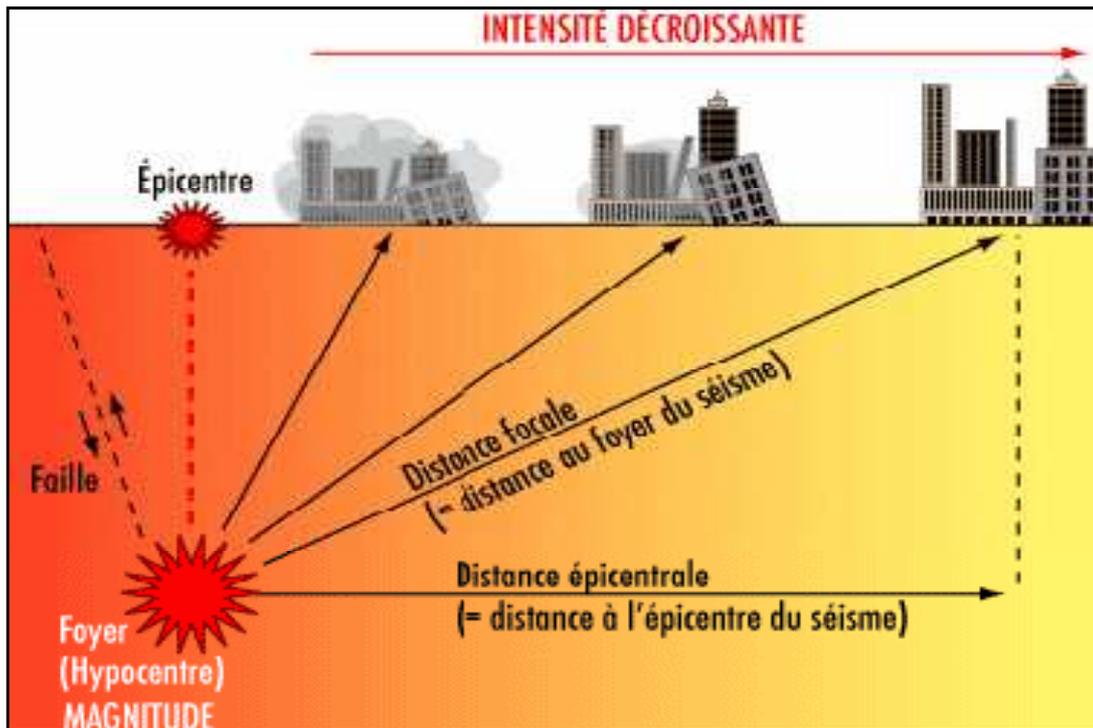


Figure II.1. Mouvements et caractéristiques d'un séisme

## II.3. Représentation de signal sismique

### II.3.1. Notions de période et d'amplitude d'une onde

La période et l'amplitude caractérisent les phénomènes ondulatoires (figure II.2). Pour les séismes, il peut s'agir de caractériser le déplacement des particules du sol, leur vitesse de déplacement et leur accélération. Les caractéristiques du mouvement ondulatoire dépendent de l'action des ondes sismiques sur les constructions [8].

➤ **La période** : c'est la durée d'un cycle d'oscillations, ou bien l'inverse de la fréquence, ou bien le nombre de cycles par seconde. La notion de périodicité d'une sollicitation dynamique d'origine sismique sera fondamentale pour la compréhension du comportement dynamique des structures.

➤ **L'amplitude d'onde traduit** « l'énergie du mouvement ondulatoire ».

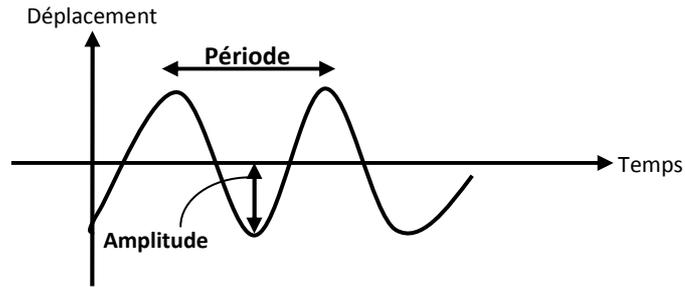


Figure II.2. Mouvement ondulatoire

### II.3.2. Définition du signal sismique

Le signal sismique est complexe et aléatoire. Il peut être représenté comme la superposition d'ondes (des différents types) de fréquences variées dont l'amplitude est plus ou moins importante [26] (figure II.3).

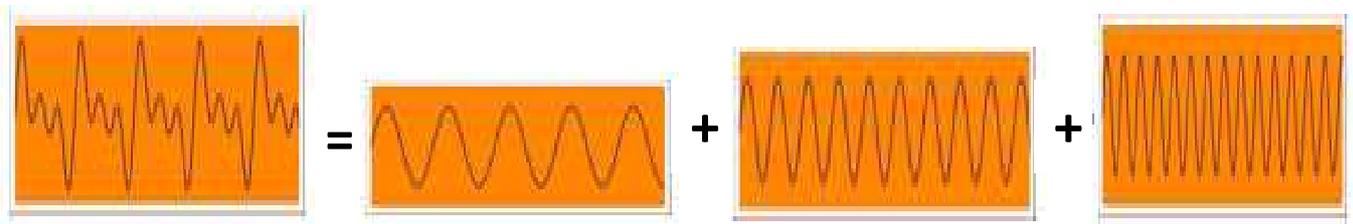


Figure II.3. L'addition d'oscillations simples plus ou moins énergétiques.

### II.3.3. Modification des ondes par les sites

Le signal sismique parvenant sur chaque site pour un séisme donné est sensiblement différent (figure II.4). C'est à ce signal (fréquences, amplitudes et durée) que la construction devra résister et pas à une quantité d'énergie dépendant seulement de la magnitude du séisme et de la distance épacentrale [8].

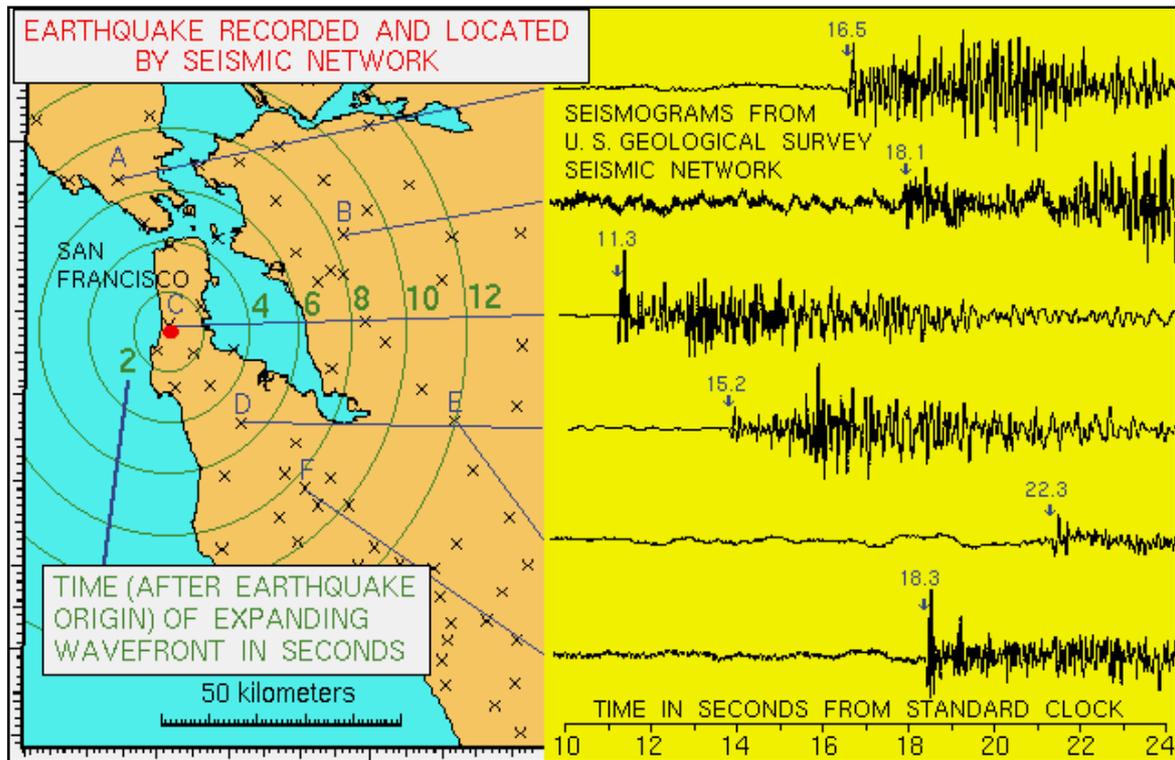


Figure II.4. Exemple d'enregistrements d'un même séisme en des points différents

### II.3.4. Identification du signal sismique

La concordance entre les périodes de grandes amplitudes des oscillations pour un sol donné sous l'effet d'un séisme et les périodes propres d'oscillation d'une construction créent des phénomènes de résonance qui peuvent multiplier les accélérations affectant une structure. C'est l'un des principaux facteurs de ruine s'il n'est pas pris en considération par le concepteur. Connaître la fréquence d'un séisme est très important dans le calcul des structures

L'un des objets de la sismologie appliquée est d'associer à chaque site un spectre de réponse, qui permet à l'ingénieur d'évaluer la possible amplification des ondes arrivant sur le site, en raison d'une mise en résonance de la structure.

La première étape pour y parvenir est d'enregistrer les séismes qui affectent de différents types de site pour en décomposer le signal (enregistrement des séismes) [8].

## II.4. Enregistrement du signal sismique

Le signal sismique peut être introduit de deux manières différentes dans le calcul des structures :

- Accélérogrammes ;
- Spectres de réponse.

### II.4.1. Les accélérogrammes

Notre compréhension des forces ou déformations induites par les séismes s'est développée de manière considérable conséquemment à des mouvements de sol dus aux séismes, ou à la réponse des structures enregistrée sous forme d'accélérogrammes.

Les mouvements du sol enregistrés lors d'un séisme s'écrivent principalement sous la forme d'accélérogramme qui représente la variation de l'accélération dans une direction donnée en fonction du temps (figure II.5); nous pouvons de même enregistrer la vitesse ou le déplacement des particules du sol.

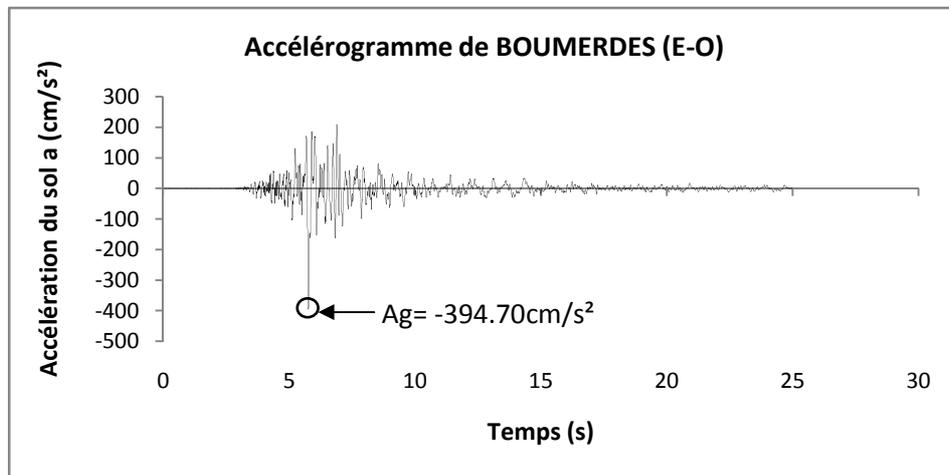


Figure II.5 : Exemple d'accélérogramme (en  $\text{cm/s}^2$ )

Il convient de noter qu'en un point donné du sol, les mouvements des particules lors d'un séisme s'effectuent dans toutes les directions à l'horizontale comme à la verticale. C'est-à-dire, il est enregistré habituellement pour un même séisme trois accélérogrammes :

- Un accélérogramme de direction Nord-Ouest ;
- Un accélérogramme de direction Est-Ouest ;
- Un accélérogramme de direction verticale.

L'amplitude du mouvement vertical est nettement inférieure à celle du mouvement horizontal, il est généralement admis de prendre un rapport de 2/3 entre ces amplitudes.

Les trois données les plus importantes d'un accélérogramme sont [11](figure II.5) :

- **L'amplitude** : elle est généralement définie par la valeur du pic d'accélération ;
- **La fréquence** : la fréquence moyenne est déterminée en comptant le nombre de fois que l'accélérogramme coupe l'axe des abscisses par unité de temps ;
- **La durée** : elle est définie par le temps qui s'écoule entre le premier et le dernier pic au dessus d'un certain niveau où l'amplitude des accélérations est notablement plus élevée.

L'expérience a montré que la majorité des bâtiments ne peut pas supporter le un /dixième (1/10) de l'accélération de la pesanteur lors d'un mouvement de direction horizontale. De ce fait l'accélération maximale atteinte en un point du sol constituerait un paramètre important lors du dimensionnement d'une structure.

#### II.4.1.1. Facteurs à considérer pour le choix d'un accélérogramme

La nature des accélérogrammes dépend d'un certain nombre de facteurs [2] tels que :

- La magnitude du séisme;
- La distance à partir de la source de libération d'énergie;
- Les caractéristiques géologiques le long du trajet de la transmission d'onde;
- Le mécanisme de source;
- Les conditions locales du sol.

Malgré le nombre de ces facteurs et leurs natures variables, il est toutefois possible de prédire le type de mouvement attendu pour un certain sol.

Le recours au calcul transitoire implique le choix des accélérogrammes à retenir pour ce calcul. C'est un sujet qui a suscité de nombreuses discussions et dont on ne peut certainement pas considérer qu'il est actuellement réglé, en raison de ses multiples aspects (caractère naturel ou synthétique des accélérogrammes, etc.) et de ses répercussions sur la représentativité et le coût des réalisations.

Pour des applications lors des analyses linéaires, le choix des accélérogrammes n'est pas trop pertinent, car la base de définition de l'action sismique est alors naturellement représentée par un spectre élastique de réponse de calcul et les accélérogrammes retenus fournissent une approximation satisfaisante du spectre de base (figure II.6).

Dans le cas des analyses non-linéaires, le choix de l'accélérogramme est beaucoup plus difficile, car la réponse non linéaire change (augmentation) en cas de changement d'accélérogramme correspondant à une diminution du spectre élastique [5].

On distingue deux types d'accélérogrammes (figure II.5) les plus utilisés dans les calculs :

- Des accélérogrammes naturels enregistrés sur des sites comparables à celui de l'ouvrage.
- Des accélérogrammes artificiels (synthétiques), qui tiennent compte de la géologie locale, et qui sont déterminés par le calcul. L'établissement des accélérogrammes comporte donc une grande part d'approximation.

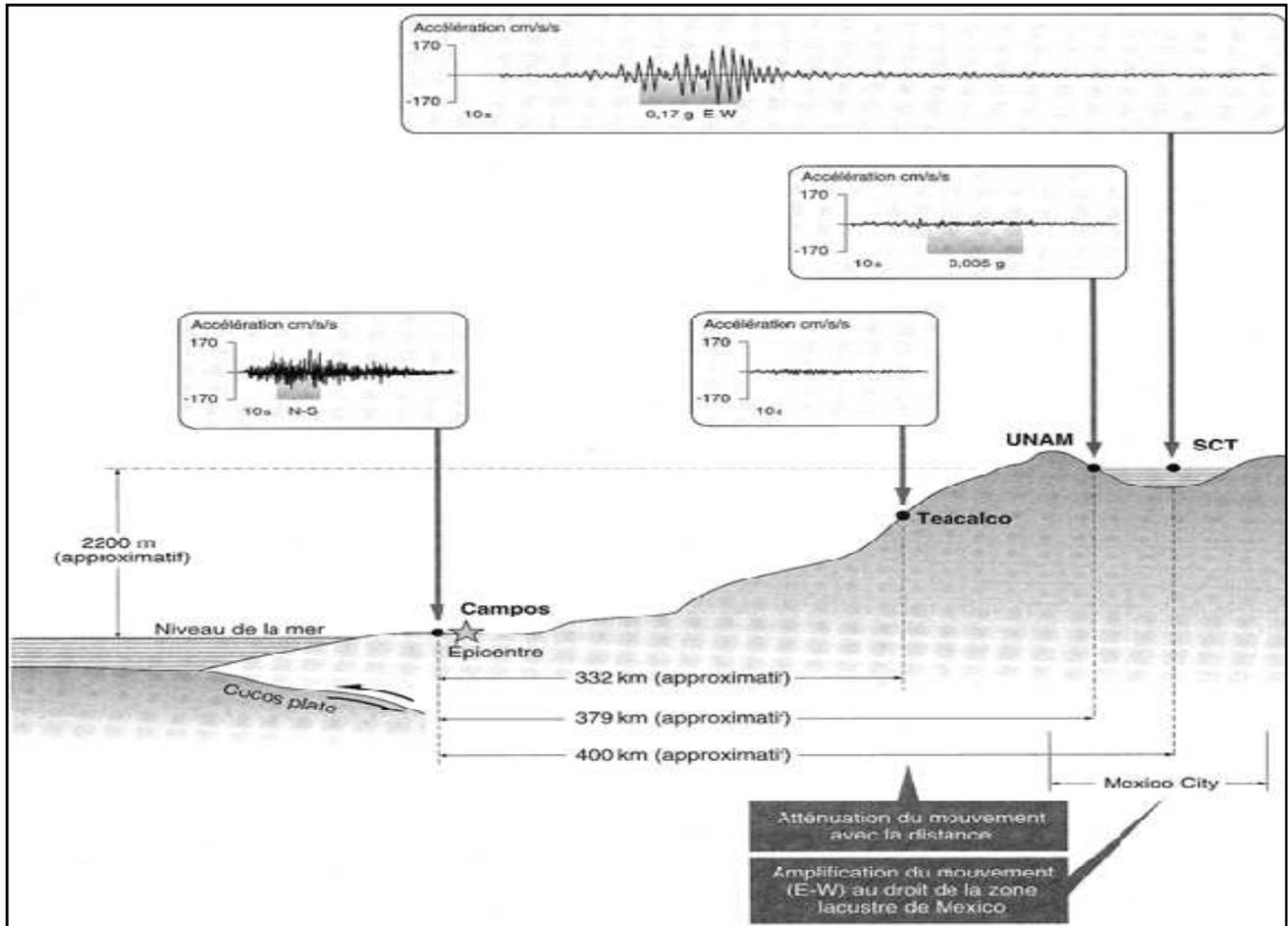


Figure II.6 : Accélérogrammes du séisme de Mexico

#### II.4.1.2. Les effets de propagation des ondes sismiques

L'énergie libérée par les séismes se propage sous formes de différents types d'ondes :

1. Les ondes de volume qui commencent dans la zone de rupture, elles incluent les ondes P (ondes primaires ou de pression) qui font intervenir le mouvement des particules parallèles à la direction de la propagation, et les ondes S (secondaires ou de cisaillement) qui font intervenir le mouvement des particules perpendiculairement à la direction de la propagation. Quand les ondes de volume atteignent la surface du sol, elles sont réfléchies mais génèrent aussi des ondes de

surface qui comprennent les ondes de Rayleigh (R) et de Love (L). Les ondes de Love produisent un mouvement horizontal transversalement à la direction de propagation.

2. Les ondes de Rayleigh produisent un mouvement circulaire analogue à celui des vagues de l'océan. Dans les deux cas, les amplitudes de ces ondes diminuent avec la profondeur à partir de la surface (figure II.7).

Les vitesses des ondes P ( $v_p$ ) et S ( $v_s$ ) dans les matériaux élastiques sont indépendantes de la fréquence, et s'écrivent respectivement :

$$v_p = \left[ \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.5})$$

$$v_s = \left[ \frac{G}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.6})$$

Où :

E : c'est le module d'élasticité longitudinale du sol

G : c'est le module de cisaillement

$\nu$  : c'est le coefficient de Poisson du sol.

$\rho$  : représente la densité du sol

Etant donné que :  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ , le rapport entre les vitesses est établi comme suit:

$$\frac{v_p}{v_s} = \left[ \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.7})$$

Le rapport entre les vitesses est donc égal à  $\sqrt{3}$  si  $\nu = 0.25$

Les valeurs 1.5 et 2 peuvent être considérées comme des valeurs limites (pour  $\nu = 0.1$  et  $\nu = 0.5$ ).

L'enregistrement de l'intervalle de temps d'arrivée des ondes P et S en trois points (ou plus) dans des sites non colinéaires, permet l'estimation de la position de l'épicentre (figure II.7).

A partir des relations ci-dessus, il est possible d'évaluer les vitesses des ondes S près de la surface de la terre, elles varient entre 3 à 4 Km/s. Cette vitesse peut décroître à des valeurs de l'ordre de 100 à 600 m/s dans les sols locaux au-dessus de l'assise de la structure.

Quand la distance depuis l'épicentre croît, la durée des secousses pour un site donné croît et devient plus complexe. Ceci est dû à l'augmentation dans le temps entre l'arrivée des ondes P et S et les effets éparés résultant de la réflexion de ces ondes à la surface. La durée des secousses croît aussi avec la magnitude du

séisme, à cause de la différence du temps entre l'arrivée de l'énergie à partir des différents points le long de la surface de rupture (figure II.7).

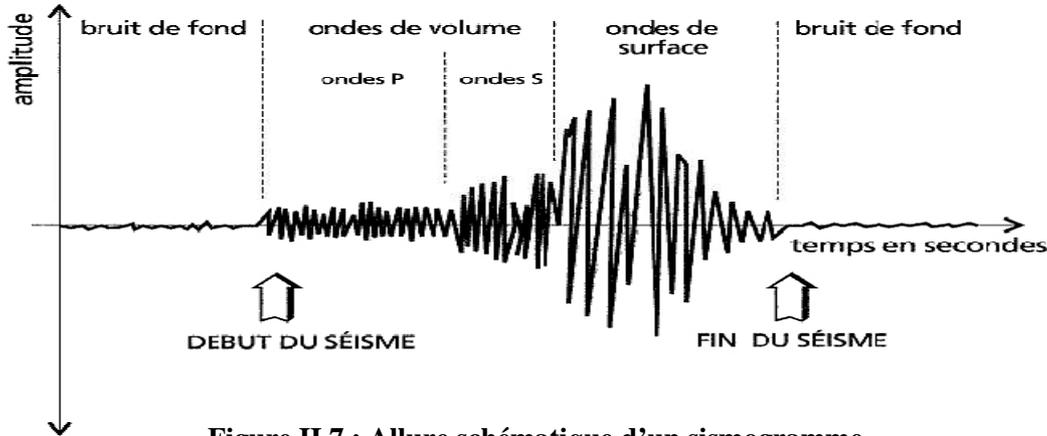


Figure II.7 : Allure schématique d'un sismogramme.

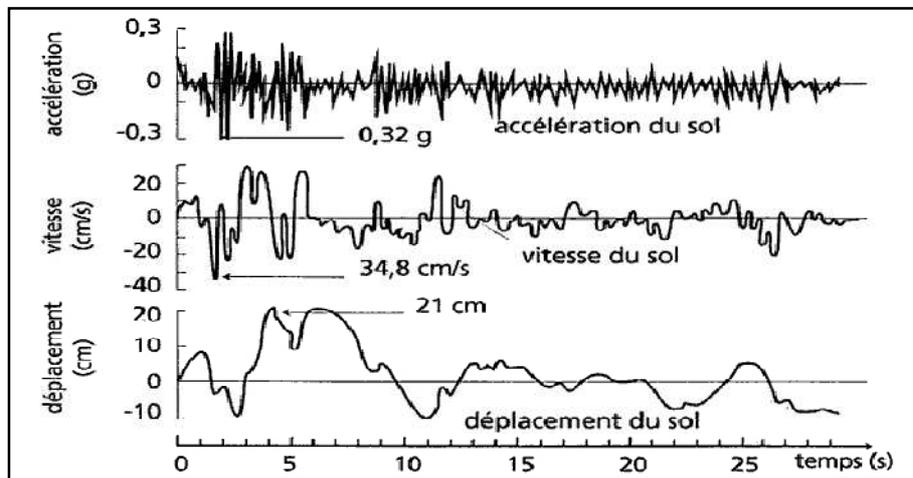


Figure II.8 : Séisme d'El Centro (Californie), composante nord-sud (d'après Blume, Newmark et Corning).

#### II.4.2. Les spectres de réponse

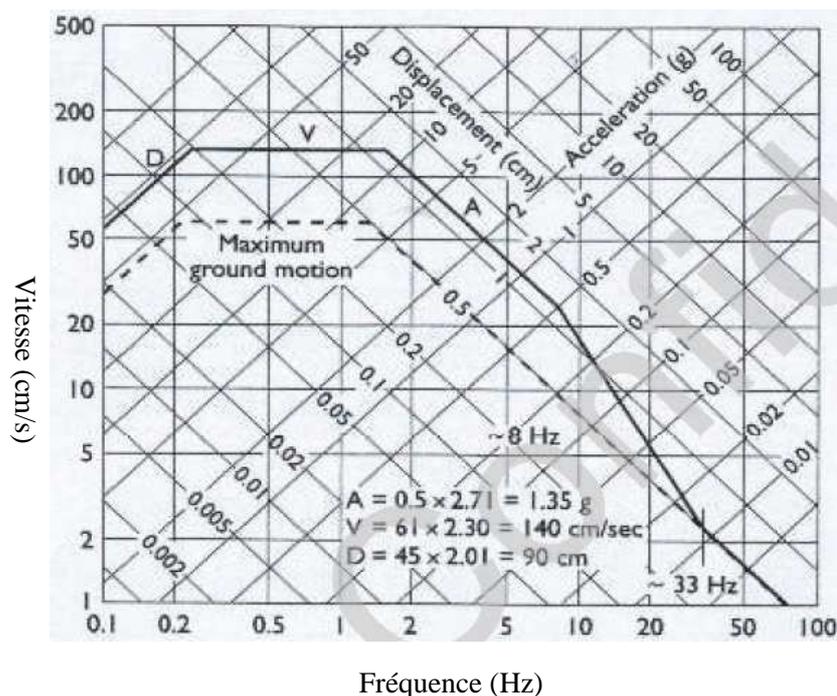
L'approche commune dans le dimensionnement parasismique courant est de caractériser les effets sismiques par des spectres de réponse, c'est à dire de définir le chargement sismique par une représentation non plus dans le domaine du temps (accélérogramme) (Figure II.8), mais dans le domaine des fréquences. Depuis son introduction par Housner dans les années cinquante, le spectre de réponse est devenu un outil indispensable dans le dimensionnement parasismique, adapté par la suite pour l'analyse et le dimensionnement structurel inélastique. Il a été, par ailleurs, reconnu que le comportement inélastique réduit la demande de résistance d'une structure de ce qu'elle devrait être si le comportement est purement élastique. Ceci est pris en considération dans les clauses réglementaires à travers un coefficient réducteur de force dépendant du niveau de ductilité de la réponse. Actuellement, le spectre de réponse forme la base dans le processus d'évaluation des forces sismiques dans la majorité des codes parasismiques.

### II.4.2.1. Spectre de réponse élastique

La réponse élastique d'un système à un seul degré de liberté (SDOF) est déterminée après avoir digitalisé l'accélérogramme (naturel ou artificiel) d'un séisme donné en assumant des valeurs numériques pour la période et l'amortissement. Le mouvement dynamique est appliqué à la base du modèle (comme une console représentant la structure encastrée dans le sol). L'histoire complète de la réponse de ce système élastique peut être calculée. Les valeurs maximales des accélérations, vitesses et déplacements sont alors déterminées. En répétant cette procédure pour un grand nombre de systèmes SDOF pour une valeur spécifique de l'amortissement, le graphe du spectre de réponse est obtenu. Pour cause d'effet de résonance, le spectre a la tendance à amplifier l'action sismique pour une certaine gamme de périodes [21].

Le but de ces spectres est d'introduire cette amplification. Il existe deux manières de représentation du spectre de réponse:

- Tripartite; la réponse de tous les paramètres ensemble (figure II.9).
- Graphe séparé; les accélérations, les vitesses et les déplacements, pour une période donnée, sont obtenus par lecture de valeurs correspondantes aux paramètres introduits (voir chapitre III).



**Figure II.9 : Spectre élastique correspondant à un PGA de 0.5g et 5% d'amortissement (Newmark-Hall 1982)**

### II.4.2.1.1. Spectre lissé

Comme le spectre élastique actuel présente beaucoup de pics, il ne pourra, donc, être utilisé dans la pratique, pour cela il devient nécessaire de le lisser (figure II.10). Cette ondulation est lissée par une combinaison de variations linéaires et hyperboliques [21].

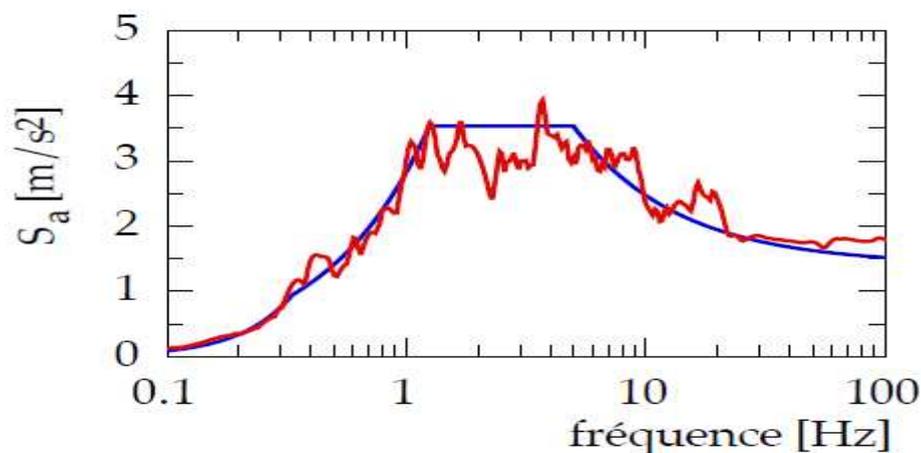


Figure II.10 : Spectre lissé

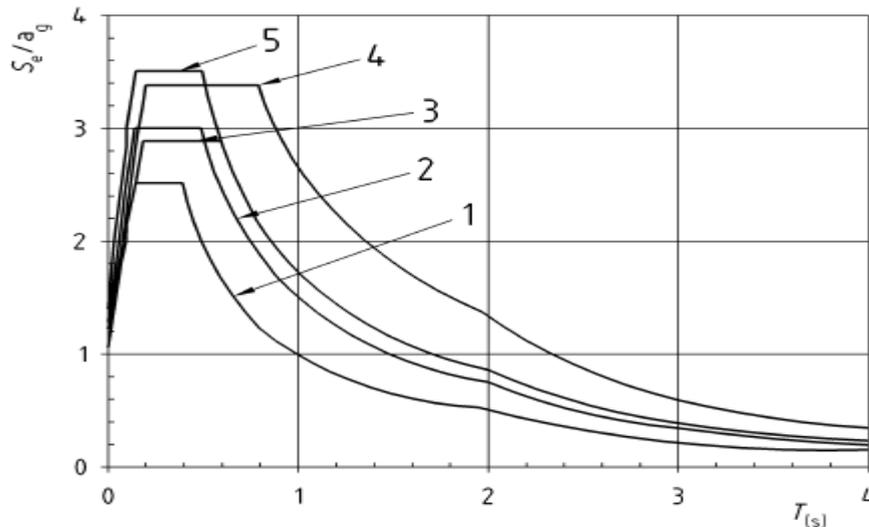
### II.4.2.1.2. Spectre normalisé

Il est d'usage recommandé d'employer un spectre de dimensionnement ou de calcul de forme générale tel que indiquée sur la (figure II.11), il est souvent normalisé pour la valeur max de l'accélération du sol. Le spectre de dimensionnement prend les valeurs max des pseudos accélérations 'Sa' en fonction de la période et d'un coefficient d'amortissement donné. Cependant, il a été constaté qu'adopter un comportement élastique pour une structure, donnera de grandes forces sismiques qui conduiront inévitablement à des coûts très élevés, car nul avantage n'a été tiré de l'aptitude de dissipation d'énergie. Cette dernière est atteinte à travers le comportement inélastique des matériaux constituants, et concrétisée naturellement par l'apparition des fissures et la plastification des aciers.

Dans le but de réduire les forces sismiques induites par la réponse structurelle, cette inélasticité est introduite à travers un amortissement hystérétique reconverti généralement en amortissement visqueux équivalent.

Le spectre d'accélération recommandé par les différents codes pour le dimensionnement de structures parasismiques introduit l'effet de site (S) à travers la période caractéristiques ( $T_1$ ).

Le facteur de site désigne effectivement le rapport des réponses d'accélérations spectrales dans les plages des moyennes et longues périodes. Il a été introduit afin d'adapter le spectre donné pour un site rocheux aux autres sites, en d'autres termes modifier ce spectre en fonction de la catégorisation de sites [9.21] (figure II.11).



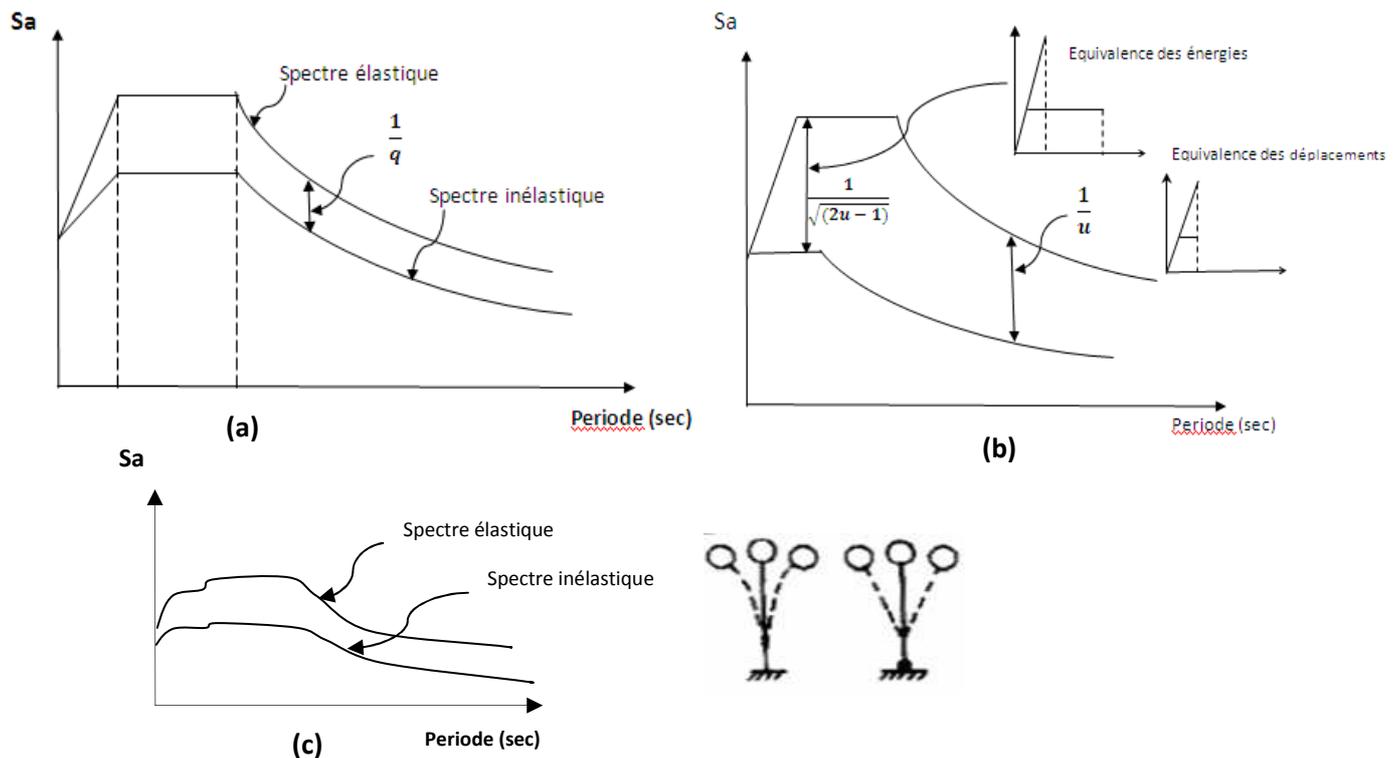
**Figure II.11 : Exemple des spectres de réponse élastiques normalisés pour les différents sites de sols (à 5 % d'amortissement).**

#### II.4.2.2. Spectre inélastique

Le spectre de réponse élastique est obtenu à partir de l'amplification de la réponse maximale du mouvement du sol exprimée soit en accélération, vitesse et déplacement sous l'effet de la résonance. Le spectre inélastique est obtenu en réduisant le spectre élastique de calcul afin de tenir compte de la capacité de dissipation d'énergie de la structure.

Ce spectre inélastique peut être obtenu de plusieurs façons :

- En réduisant le spectre de réponse élastique par un coefficient empirique indépendant de la période de vibration de la structure connu aussi comme facteur de comportement  $R$  afin de considérer la déformation inélastique de la structure (figure II.12.a).
- En réduisant le spectre de réponse élastique par un coefficient variable en fonction de la période de vibration de la structure connu comme le facteur de comportement ( $R$  ou  $q$ ) afin de considérer la déformation inélastique de la structure (figure II.12.b).
- Le spectre inélastique peut être déterminé directement en utilisant un système élasto-plastique à un seul degré de liberté SDOF sujet à un mouvement du sol (figure II.12.c). Le spectre inélastique dans ce cas prend en considération les conditions locales du site, la période de vibration ....etc [21].



**Figure II.12 : Spectres inélastiques en utilisant:**  
 (a) R constant, (b) R variable, (c) Détermination directe à travers un système élasto-plastique  
 (Méthode de NEWMARK et HALL)

### II.4.2.3. Spectre de capacité

L'une des étapes primordiales dans la procédure d'évaluation de la capacité parasismique (performance sismique) des structures, consiste en l'estimation inélastique max « demande » sous un niveau d'excitation sismique donné. Des méthodes simplifiées ont été proposées afin d'éviter l'analyse temporelle non linéaire. Les plus utilisées sont la méthode du spectre de capacité et la méthode du coefficient de déplacement.

Le spectre de capacité est une autre alternative de représentation du spectre inélastique. Au lieu d'utiliser le graphe accélération-période, une courbe force-capacité (accélération-déplacement) est tracée (figure II.13). L'avantage de cette représentation est l'illustration conjuguée de la force et de la demande de déplacement. Pour les forces élastiques la demande du déplacement élastique et la période élastique peuvent être déterminées.

Pour le comportement inélastique la demande du déplacement inélastique est obtenue au niveau de la branche horizontale de la courbe de capacité avec un spectre inélastique réduit; et la période concordante avec le déplacement inélastique peut être déterminée.

La méthode du spectre de capacité incluse dans la procédure ATC 40 est basée sur la méthode de linéarisation équivalente, dans laquelle le déplacement inélastique max est évalué en utilisant une méthode itérative nécessitant l'analyse d'une série de systèmes linéaires équivalents.

Simultanément, le document FEMA 273 adopte la méthode du coefficient de déplacement où la déformation inélastique max d'une structure est estimée à partir de la déformation élastique max en utilisant un coefficient modificateur C [21].

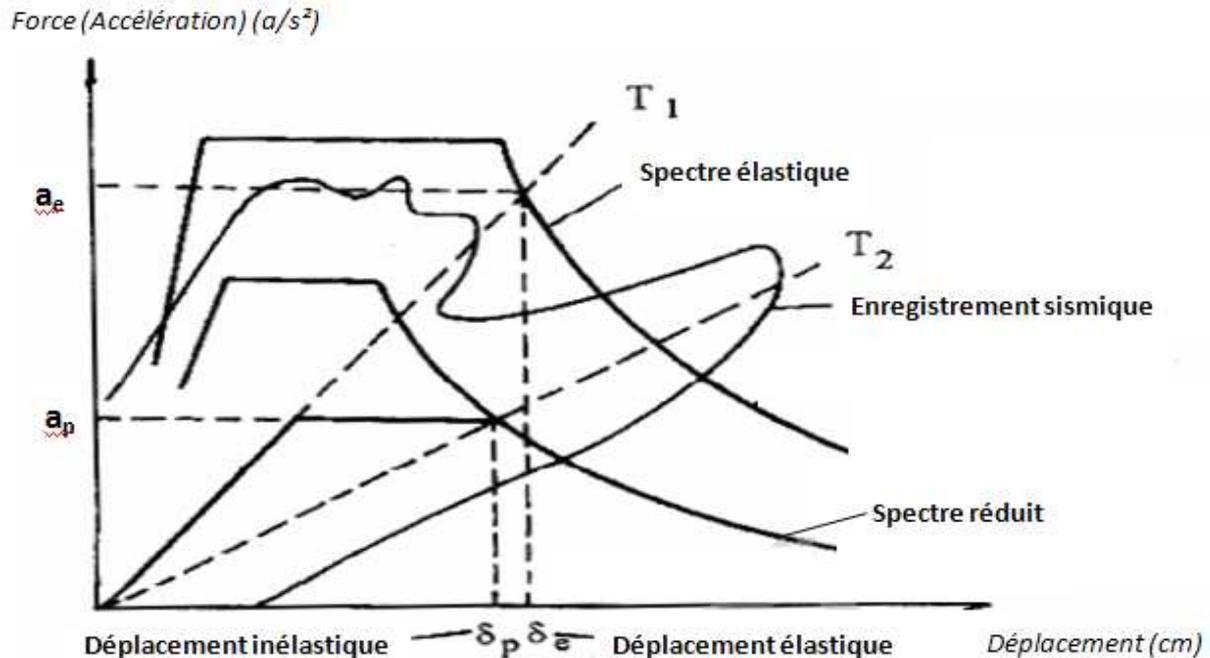


Figure II.13 : Spectres de capacité

## II.5. Notions sur la performance sismique

Les niveaux de performance visés par les codes courants relatifs aux bâtiments sont:

- Sécurité sur les vies humaines
- Contrôle de l'endommagement
  - Séisme de faible intensité (endommagement négligeable).
  - Séisme modéré (endommagement réparable).
- Eviter l'effondrement lors d'un séisme majeur.

Plusieurs interprétations ont été faites sur l'approche en performance, la définition la plus appropriée est celle qui se réfère à la méthodologie dans laquelle les critères de dimensionnement structurel sont exprimés en objectifs de performance à atteindre. Ces objectifs sont des états d'acceptation de la performance de la structure. La performance "cible" peut être caractérisée par des limites exprimées en termes de contraintes, déformations, déplacements, accélérations, etc. Pour ce, les objectifs de

performance sont exprimés en terme d'un état spécifique d'endommagement ou en probabilité de "ruine" contre une probabilité prescrite d'un niveau "demande".

Il est reconnu que les limites exprimées en déplacement relatif spécifiques à différents niveaux d'endommagement peuvent varier considérablement en fonction du système structurel et du matériau de construction [21].

### II.5.1. Niveaux de performance

Il n'existe pas de consensus sur la définition du niveau d'endommagement suite à un séisme spécifique, mais des critères acceptables pour caractériser ces performances:

a- Sécurité des vies: exigence fondamentale

b- Réparation de l'endommagement : une distinction est faite entre endommagement structurel réparable et endommagement structurel non réparable

c- Effondrement à éviter : afin d'éviter les blessures et les pertes de vies humaines, la structure doit rester debout après un tremblement de terre.

Pour une performance structurelle définie en termes d'un état d'endommagement, l'état de la déformation reste le meilleur indicateur.

En terme de déplacement la réponse structurelle peut être reliée à un état limite de déformation, qui à son tour est supposé être directement lié à un certain niveau d'endommagement.

### II.5.2. Cohérence dans la conception parasismique

Dans ce contexte de conception de performance, pour un niveau déterminé d'excitation sismique la structure est conçue de façon que sa performance reste entre les limites prescrites. Pour atteindre ce niveau de vérification, le dimensionnement est conduit à travers la formulation "requis - disponible" ou "demande - capacité"

$$\text{Capacité requise} \leq \text{Capacité disponible}$$

Trois paires de caractéristiques mécaniques sont couramment considérées dans le dimensionnement parasismique: rigidité, résistance et ductilité.

$$\text{Rigidité requise} \leq \text{Rigidité disponible}$$

$$\text{Résistance requise} \leq \text{Résistance disponible}$$

$$\text{Ductilité requise} \leq \text{Ductilité disponible}$$

Afin d'établir la cohérence réglementaire, la structure doit être vérifiée pour les 3 états limites précités pour les critères de performance suivants [21]:

- Service —→ Rigidité
- Contrôle de l'endommagement —→ Résistance
- Ultime —→ Capacité de déformation ou ductilité

### II.5.3. Critères de dimensionnement pour trois niveaux de performance

#### II.5.3.1. Critère de rigidité

La vérification de la résistance est traditionnellement considérée par les concepteurs comme le premier critère à satisfaire dans le processus de dimensionnement. Suite à l'impact économique et la perte de fonctionnalité des bâtiments, le contrôle de l'endommagement à travers la vérification de la rigidité structurelle est devenu un critère incontournable [22], afin de :

- Préserver l'intégrité architecturale sous séisme modéré et éviter un endommagement dangereux des éléments non structuraux sous séisme sévère.
- Limiter l'endommagement structurel et réduire le phénomène du second ordre.
- Eviter un non confort sous séisme mineur ou occasionnel modéré.

La vérification est généralement concrétisée à travers la relation :

$$\text{Rigidité requise} \leq \text{Rigidité disponible}$$

La rigidité requise dépend essentiellement du type de séisme et du type de structure. Pour les séismes éloignés du foyer épical (séismes lointains) le déplacement maximal est enregistré au niveau de la partie inférieure de la structure, cependant pour les régions proches de ce foyer (séismes proches), et à cause des modes supérieurs le déplacement maximal est enregistré en tête [22].

#### II.5.3.2. Critère de résistance

La conception parasismique courante autorise l'endommagement structurel lors d'un séisme sévère ou les structures sont appelées à enregistrer d'importantes déformations inélastiques. La force de dimensionnement est nettement inférieure à la force nécessaire pour que la structure reste dans le domaine élastique. Le critère de résistance est traditionnellement introduit comme un but primordial dans le dimensionnement parasismique; la structure doit donc satisfaire ce critère à travers la relation suivante :

$$\text{Demande de résistance} \leq \text{Capacité de résistance}$$

Les deux termes de l'équation sont déterminés respectivement à partir de l'action sismique et la configuration structurelle. La demande de résistance peut être déterminée en utilisant la méthode linéaire élastique ou non linéaire inélastique, et elle dépend du :

- Le type de séisme, se référant à son intensité, durée, période etc. La différence entre un séisme proche et un séisme lointain est considérée.
- Le type de structure.
- Le spectre de dimensionnement, tiré du spectre élastique en utilisant le facteur de réduction de force R (selon le code RPA, facteur de comportement), il est déterminé en fonction du type de structure, de sa période naturelle et sa résistance.

La capacité de résistance dépend des caractéristiques des zones dissipatives d'énergie, où une résistance adéquate est fournie tout en évitant la rupture brutale ou autres modes de rupture. La résistance de ces zones dépend des facteurs suivants:

- La sécurité prise sur les matériaux en considérant les limites inférieures, conduisant ainsi à une augmentation de la résistance des sections.
- L'utilisation des sections beaucoup plus importantes que celles résultantes de l'analyse.
- Utiliser l'effet d'écrouissage qui produit une augmentation des moments plastiques
- Redistribution des moments suite à la formation des rotules plastiques, le moment de calcul peut diminuer ou augmenter.
- L'accumulation des déformations plastiques: la capacité de résistance de la structure dépend du nombre de cycles inélastiques, de leurs séquences et de leurs amplitudes relatives [21].

### II.5.3.3. Critère de ductilité

On entend par ductilité dans la conception structurelle, la capacité d'une structure de supporter de larges déformations dans le domaine post-élastique sans jamais enregistrer une réduction substantielle de résistance. L'approche rationnelle utilisée pour déterminer la résistance sismique d'une structure en portiques consiste à choisir le mécanisme de déformation post-élastique le plus approprié. Pour atteindre ce but, plusieurs règlements exigent à ce que ces structures aient la capacité de résistance garantissant le niveau de demande de ductilité résultant.

Pour les portiques auto stables, la plastification préférée est celle causée par un comportement flexionnel que celle causées par l'action de l'effort tranchant ou d'adhérence qui sont à éviter, vu qu'elles conduisent à une réduction substantielle de la dissipation d'énergie [23]. Les régions critiques du système structurel résistant aux forces sismiques peuvent être, ainsi préalablement, choisies, convenablement conçues et soigneusement ferrillées afin de fournir une capacité de résistance et de ductilité adéquates ( $u$ )

Le critère de ductilité est défini :

$$u = \frac{Sd_u}{Sd_y} \quad (\text{II.8})$$

Avec :  $S_{du}$  : déplacement spectral ultime.

$S_{dy}$  : déplacement spectral à la limite élastique.

Les récents développements dans la conception parasismique incluent le fait de doter la structure d'une ductilité suffisante, comme le stipule la réglementation en ce qui concerne la rigidité et la résistance. Pour ce, une méthodologie claire et cohérente pour le contrôle direct de ductilité doit être développée. Cet objectif est atteint si le critère de ductilité est satisfait:

$$\text{Demande de ductilité} \leq \text{Capacité de ductilité}$$

Les facteurs qui influent sur la demande en ductilité sont le type de séisme, le type de fondation et le type de structure.

L'évaluation de la demande en ductilité requise est fonction de déplacement en tête de la structure. La capacité en ductilité est évaluée généralement localement à travers la capacité de rotation de l'élément ou de la courbure de la section, et elle en dépend de plusieurs facteurs :

- Configuration du ferrailage longitudinal et transversal.
- Ecrouissage de l'armature longitudinale.
- Charge axiale.

## II.6. Les séisme proche et lointain

### II.6.1. Définition

La notion de séisme proche et le séisme lointain est différente, selon l'étude de l'aléa sismique, les effets de site et les effets induits, soit par rapport à la distance épacentrale (superficielle) ou à la distance focale (profonde). Dans le premier cas, nous appelons séisme proche, un séisme dont l'épicentre est situé à moins de 10 km de la structure considérée. De ce fait un séisme peut être proche pour un site et lointain pour un autre.

Cependant, dans le « jargon » parasismique, cette définition est également associée à d'autres paramètres comme la magnitude, le contenu fréquentiel, le niveau d'accélération, etc.

Le contenu fréquentiel est évalué par *le rapport*  $\left(\frac{A}{V}\right)$  avec (A= l'accélération maximale du sol sur V=la vitesse maximale).

Le paramètre, contenu fréquentiel est plus important et riche en haute fréquence dans le cas du séisme proche. Dans ce cas de séisme proche :

- Les valeurs de  $\left(\frac{A}{V}\right) \gg 10$  ;
- Les niveaux d'accélération (ou pic) sont plus élevés ;

- Le nombre de cycles plus faible ;
- La durée du séisme est plus courte (de l'ordre de 2 à 5 secondes).

### II.6.2. Comportement structurel vis-à-vis des séismes proche et lointain

Le comportement des structures vis-à-vis des séismes proche et lointain peut être apprécié par :

#### II.6.2.1. La distance épacentrale

On considère qu'un séisme est proche lorsque la distance épacentrale  $\leq$  à 10km, par contre un séisme est considéré lointain lorsque la distance épacentrale  $>$  à 10km (figures II.14).



Figure II. 14. La distance épacentrale

#### II.6.2.2. Le mode de vibration

L'influence de modes supérieurs de vibrations est fondamentale dans le cas du séisme proche, tandis que c'est le premier mode (mode fondamental) qui est essentiel dans le cas du séisme lointain (figures II.15).



Figure II. 15. Le mode de vibration

#### II.6.2.3. L'influence des composantes verticales

Apparition de l'effet de second ordre dans la structure dans le cas du séisme proche et apparition de mécanisme globale dans le cas du séisme lointain (figures II.16).

**Séisme proche**



a)

Effet de second ordre

**Séisme lointain**



b)

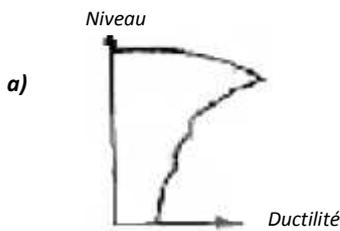
Mécanisme global

**Figure II. 16. Influence des composants verticaux**

**II.6.2.4. Demande de ductilité**

La ductilité dépend essentiellement du type du séisme, pour le séisme proche et a cause des modes supérieurs, le déplacement maximal est enregistré en tête da structure, cependant pour le séisme lointain, le déplacement maximal est enregistré au niveau de la partie inférieure de la structure, donc il est lié directement à l'état du sol (figures II.17).

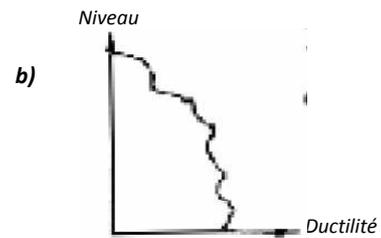
**Séisme proche**



a)

Dépendre de rigidité de structure

**Séisme lointain**



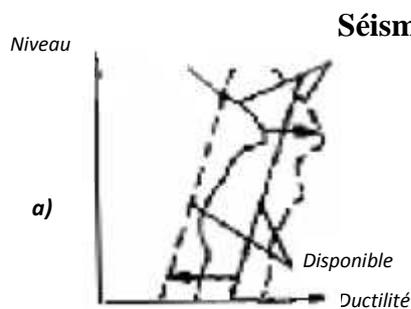
b)

Dépendre de l'état du sol

**Figure II. 17. Demande de ductilité**

**II.6.2.5. L'influence de vitesse de sol**

La vitesse de sol est plus importante dans le cas du séisme proche que lointain (figures II.18).

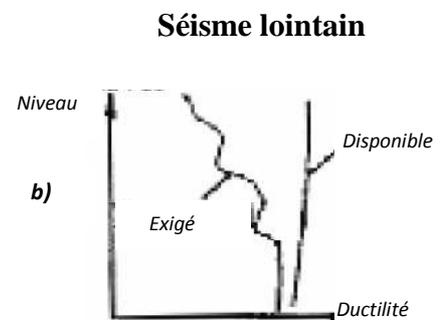


a)

**Séisme proche**

Disponibile

Ductilité



b)

**Séisme lointain**

Niveau

Exigé

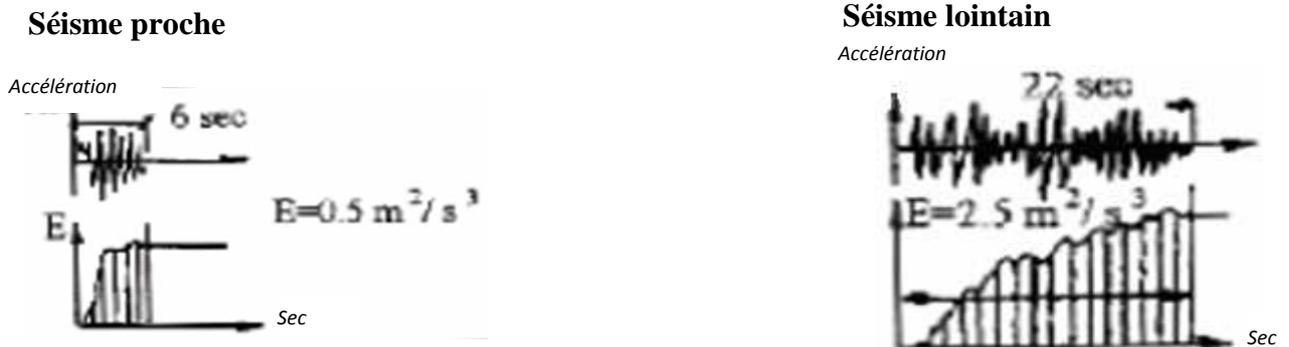
Disponibile

Ductilité

**Figure II. 18. L'influence de vitesse de sol**

**II.6.2.6. La durée du séisme**

La durée du séisme plus courte dans le cas du séisme proche que lointain (figures II.19).



**Figure II. 19. La durée du séisme**

Le tableau (II.1) résume le comportement structurel vis-à-vis du séisme proche et lointain:

Paramètres	Séisme proche	Séisme lointain
<i>La distance</i>	Près du site (<10Km)	Loin du site (≥10Km)
<i>Mode de vibration</i>	Modes supérieurs	Mode fondamental
<i>Composants verticaux</i>	Effet de second ordre	Mécanisme global
<i>Demande de ductilité</i>	Dépendre de rigidité de structures	Dépendre de l'état de sol
<i>La vitesse de sol</i>	Importante	Moins importante
<i>Durée du séisme</i>	Courte	Lente

**Tableau II.1 : Comportement structurel vis-à-vis du séisme proche et lointain**

**II.6.3. Les différentes caractéristiques des séismes proches et lointains**

Les différentes caractéristiques des séismes proches et lointains dépendent de :

**II.6. 3.1.L'influence de la force géologique**

La force géologique ou sismique dans le cas du séisme proche est parallèle à la direction de rupture, par contre dans le cas du séisme lointain est basé sur la stratification de sol (figures II.20).

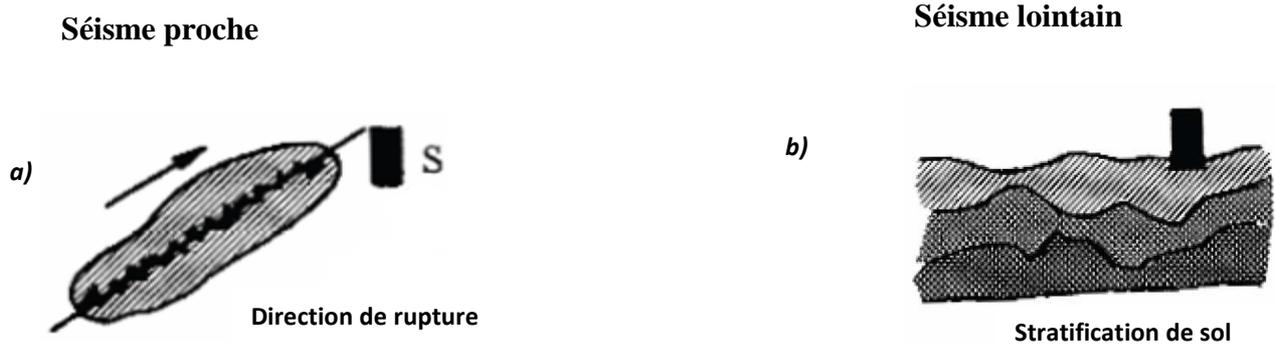


Figure II. 20. L'influence de la force géologique

**II.6.3.2. Le type du mouvement**

Le mouvement au sol est du type impulsion dans le séisme proche et il est cyclique pour le séisme lointain (figures II.21).

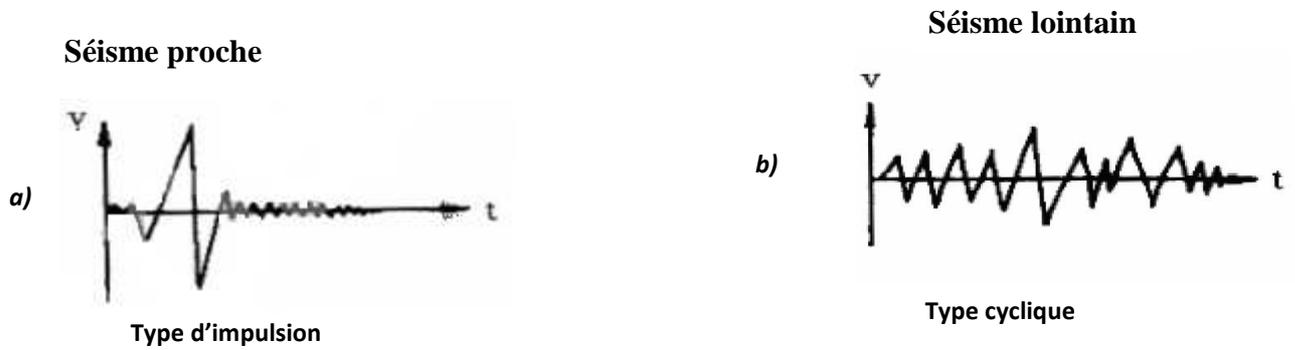


Figure II. 21. Le type du mouvement

**II.6. 3.3. La quantité verticale des composants**

Cette quantité est en fonction du temps, elle est plus haute que l'horizontal dans le séisme proche et de valeur réduite pour le séisme lointain (figures II.22).

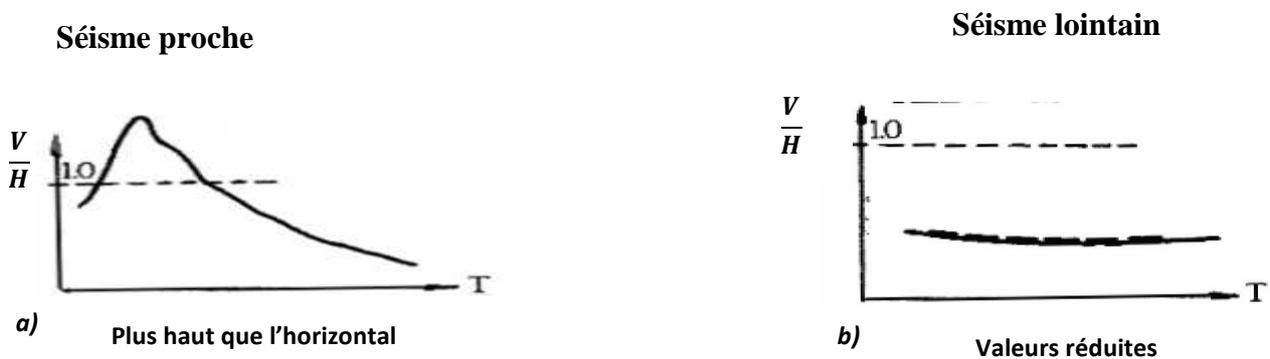
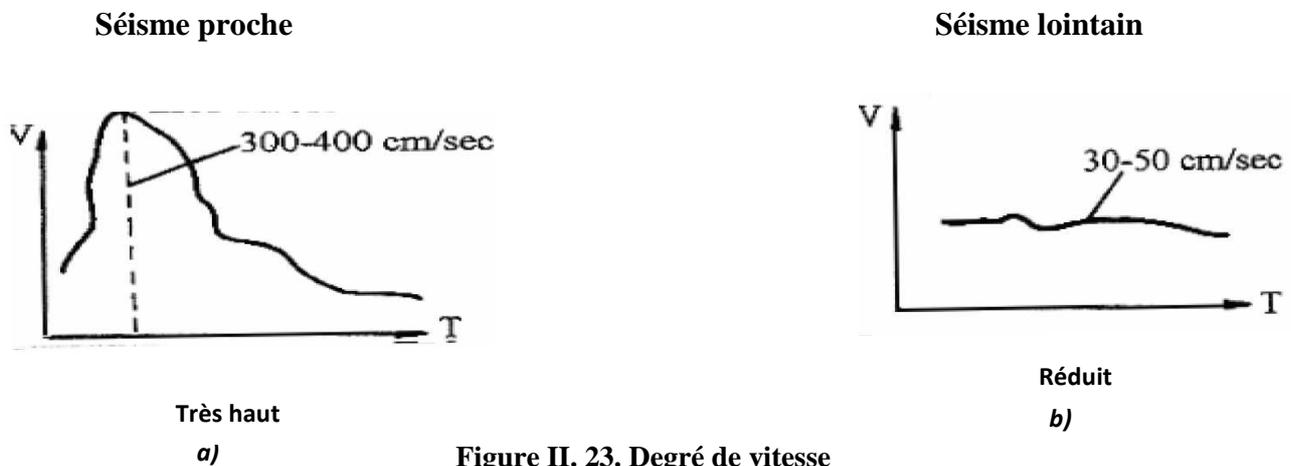


Figure II. 22. La quantité verticale de composants

### II.6.3.4. Degré de vitesse

Le degré de vitesse est de l'ordre (300 – 400cm/s) ce qui est considéré comme valeur importante dans le séisme proche et elle est de l'ordre (30 – 50cm/s) ce qui est comme valeur réduite dans le cas du séisme lointain (figures II.23).



Les caractéristiques essentielles d'un séisme proche et d'un séisme lointain sont résumées dans le tableau II.2 suivant :

Paramètres	Séisme proche	Séisme lointain
<i>La force géologique</i>	Direction de rupture	Stratification de sol
<i>Type de mouvement au sol</i>	Impulsion	Cyclique
<i>Quantité verticale de composants (<math>\frac{V}{H}</math>)</i>	Plus haut que l'horizontal	Valeur réduite
<i>Degré de vitesse</i>	(300-400) cm/sec	(30-50) cm/sec

**Tableau II.2 : Les différentes caractéristiques des séismes proches et lointains**

# CHAPITRE III

## **Formulation des spectres de réponse pour le séisme proche et lointain**

### III.1.Introduction

La région nord algérienne est connue par son importante activité sismique : Chlef(1980), Constantine (1985), Oued Djer (1988), Tipaza (1989), Mascara (1994), Ain-Benian (1996), Ain-Témouchent (1999), Boumerdes (2003). Paradoxalement, c'est dans cette région nord où sont concentrées les plus grandes villes (Alger, Oran, Constantine, Annaba, Tizi Ouzou, Boumerdes, etc...) que le risque sismique est avéré. Avec le développement du tissu économique et la croissance de la population dans ces villes, le meilleur moyen de protection est de construire parasismique en tenant compte de tous les paramètres qui peuvent influencer ces séismes.

Le séisme de Boumerdes (qui s'est produit le mercredi 21 mai 2003 à 19h44 d'une magnitude de 6,7 à 6,9 situé à une profondeur de 10km, a touché une zone allant de Zemmouri, Boumerdes jusqu'à Alger et Tizi Ouzou) a montré que pour une même typologie de constructions, le comportement de ces structures a été différent d'un endroit à un autre et cela pour différentes raisons, entre autres qu'il soit proche ou lointain.

### III.2. Enregistrements des séismes (proches et lointains)

Dans notre étude, nous avons travaillé sur deux enregistrements issus du séisme de Boumerdes (avec ces milliers de répliques) qui ont été, en grande partie, enregistrées par les stations accélérométriques installées dans plusieurs régions du pays (figure III.1), et en particulier celles des régions de Boumerdes et d'Azzazga. Comme travail routinier, l'observatoire calcule les pics de l'accélération horizontale (PGA, Peak Ground horizontal Acceleration) pour chaque événement. Dans notre travail, nous nous sommes basés sur des accélérogrammes de même caractéristique, c.-à-d des accélérogrammes qui ont la même durée et la fréquence centrale, et qui sont installés respectivement à Boumerdes (en plein épicode) et à Azzazga (loin du foyer de 70km de l'épicentre). Nous avons choisi deux directions à savoir la direction (Est-Ouest) et la direction (Nord-Sud) avec leurs accélérations maximales du sol, qui sont par ailleurs traités au centre de génie parasismique (CGS) d'Alger (figure III.2).

- Accélérogramme [(E-O) et (N-S)] d'Azzazga du 21/05/2003 (figure III.2.a) et (figure III.2.b).
- Accélérogramme [(E-O) et (N-S)] de Boumerdes du 21/05/2003 (figure III.2.c) et (figure III.2.d).

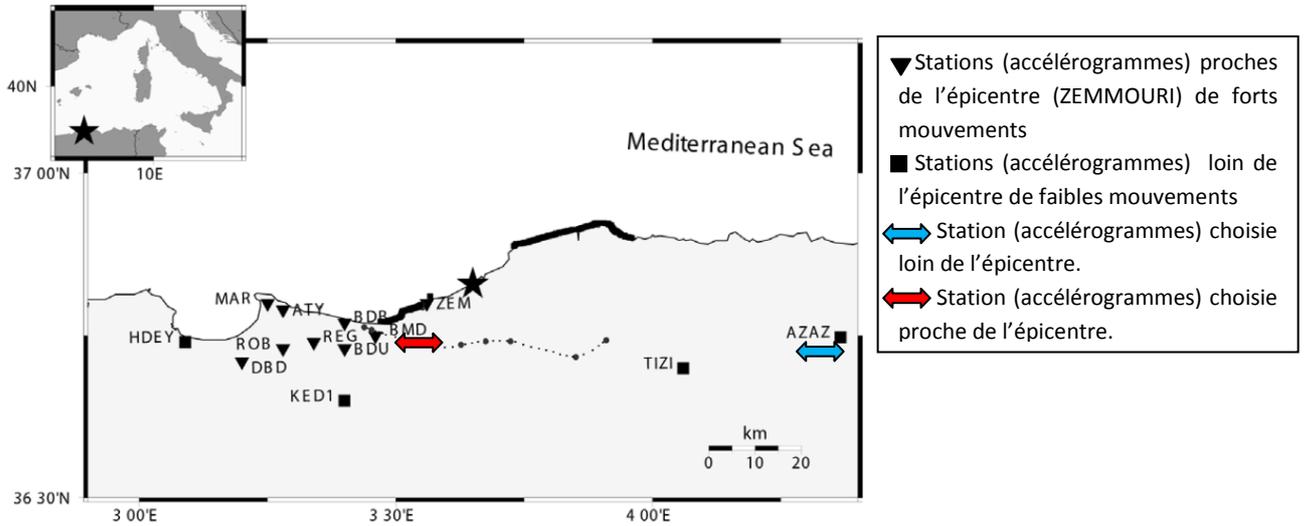


Figure III. 1: Enregistrements de signaux sismiques traités par le CGS le 21/03/2003

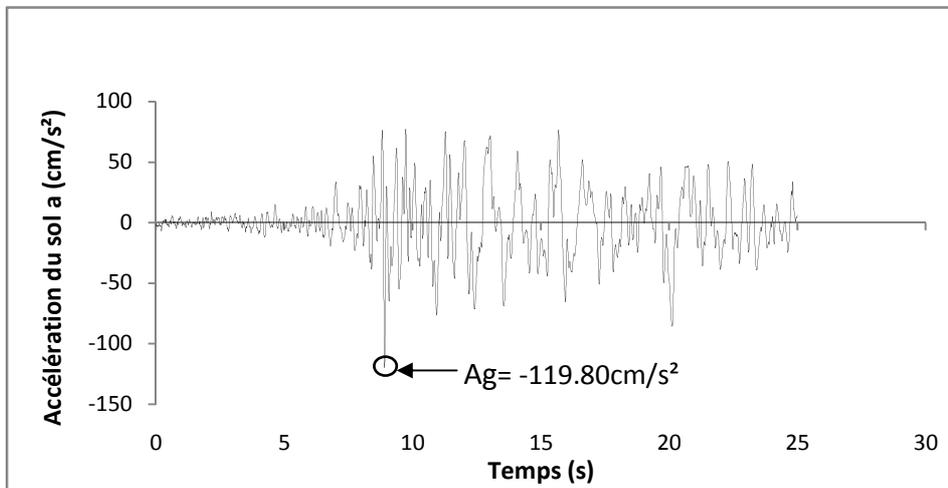


Figure III. 2.1. Accélérogramme Azzazga (E-O)

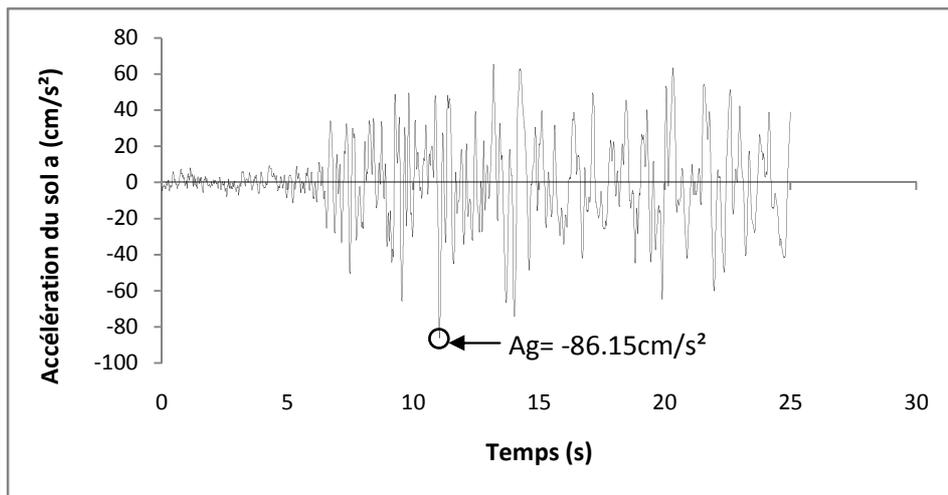


Figure III. 2.2. Accélérogramme Azzazga (N-S)

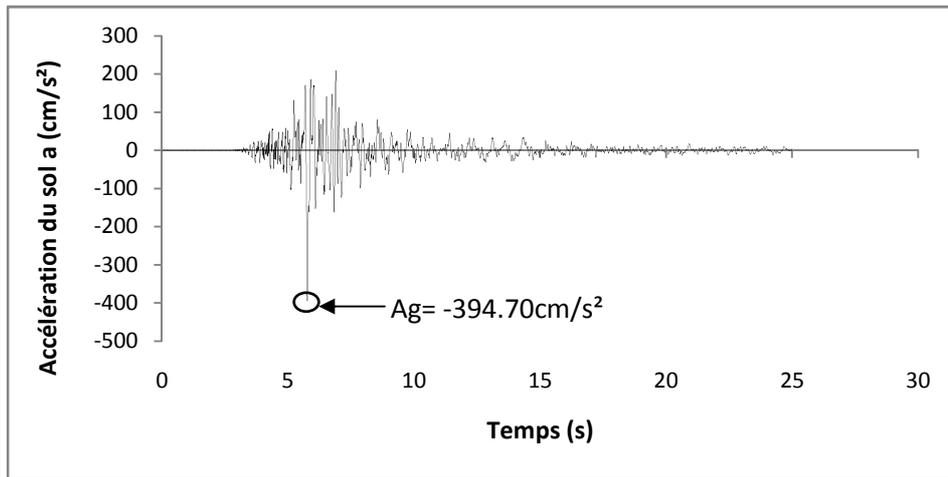


Figure III. 2. 3: Accélérogramme Boumerdes (E-O)

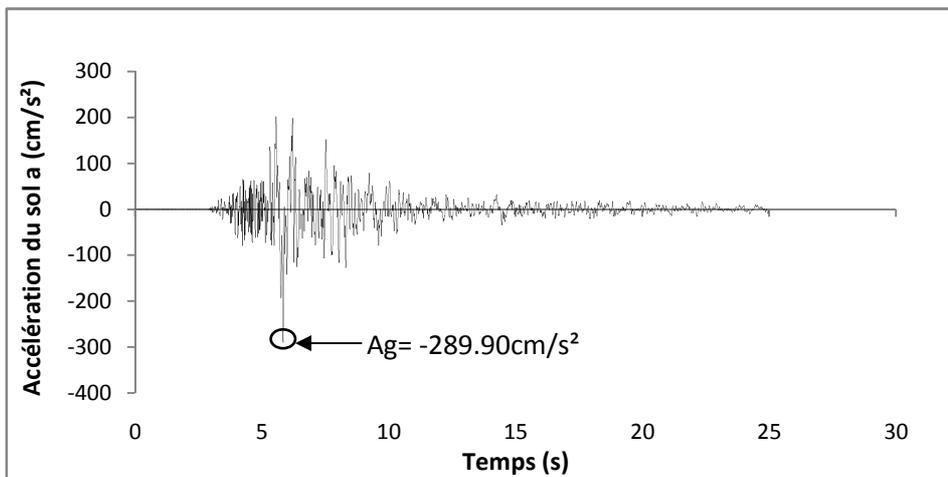


Figure III. 2. 4: Accélérogramme Boumerdes (N-S)

### III.3. Transformation des données accélérométriques enregistrées en spectres de réponse

Nous avons transformé les données accélérométriques enregistrées lors du séisme de Boumerdes en spectres de réponse de forme  $(S_d - S_a)$ . Pour cela nous avons utilisé le logiciel PRISM. Ce logiciel prend en charge les étapes suivantes :

#### Etape 1

Dans un premier temps, nous ouvrirons la fenêtre du logiciel PRISM (figure III.3 et III.4) et qui nous permet de :

- 1) Charger les composantes horizontales de l'accélérogramme du séisme de Boumerdes.
- 2) Transformation l'accélérogramme en spectre (vitesse – temps).
- 3) Transformation le spectre (vitesse – temps) en un spectre (déplacement – temps).

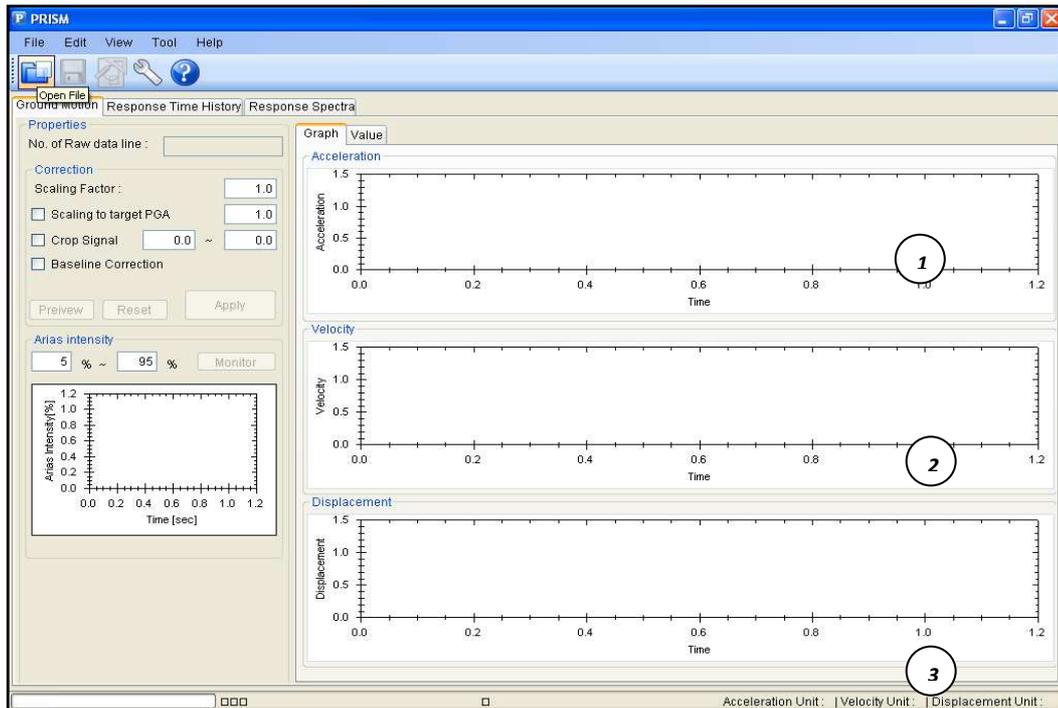


Figure III.3 : Fenêtre du logiciel PRISM

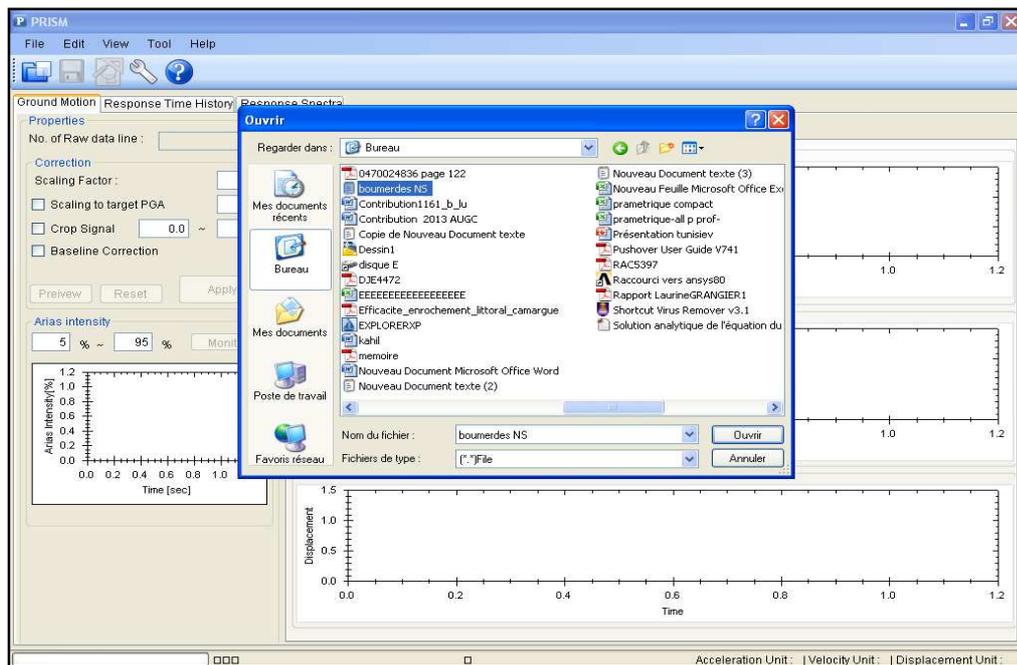
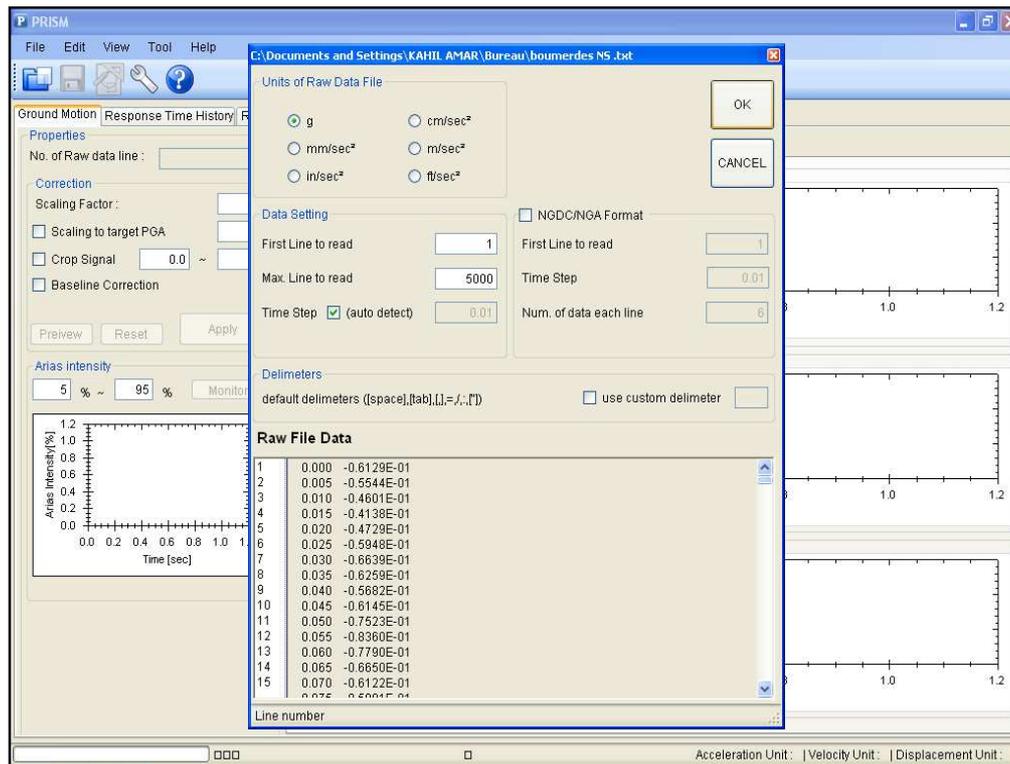


Figure III.4 : Introduction des données accélérométriques (sous format .txt)

**Etape 2**

Ensuite, nous avons introduit les signaux sismiques. Essentiellement, se sont les accélérogrammes ci-après que nous avons traités (figure III.5) à savoir :

- Accélérogramme Est-Ouest d'Azzazga ;
- Accélérogramme Nord-Sud d'Azzazga ;
- Accélérogramme Est-Ouest de Boumerdes ;
- Accélérogramme Nord-Sud de Boumerdes.



**Figure III.5 : Choix des unités**

**Etape 3**

Une fois que les signaux sismiques sont introduits, nous obtenons des graphes d'accélérations spectrales, de déplacements spectraux et de vitesses spectrales en fonction du temps (figure III.6.a, b, c).

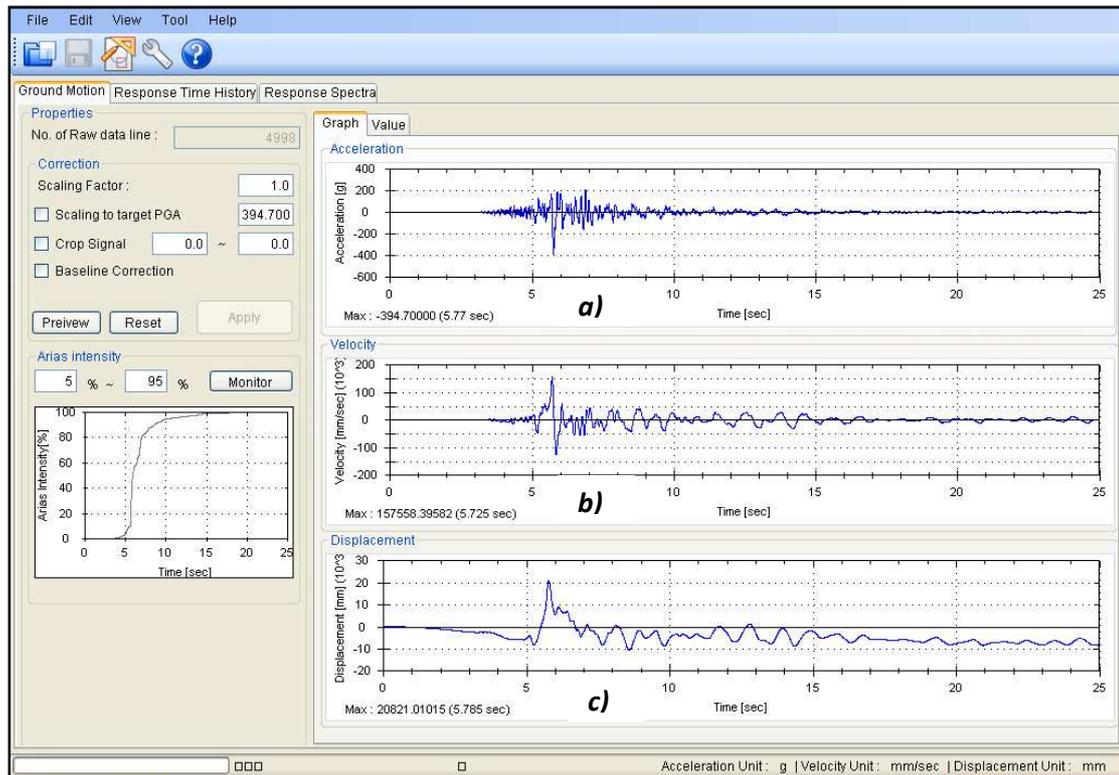


Figure III.6: Les graphes d'accélération, de déplacement et de vitesse en fonction du temps

#### Etape 4

A cette étape, nous introduisons dans les graphes d'accélération, de déplacements et de vitesses en fonction du temps obtenus, le type d'amortissement visqueux  $\zeta$  choisi et le type de spectre souhaité (figure III.7).

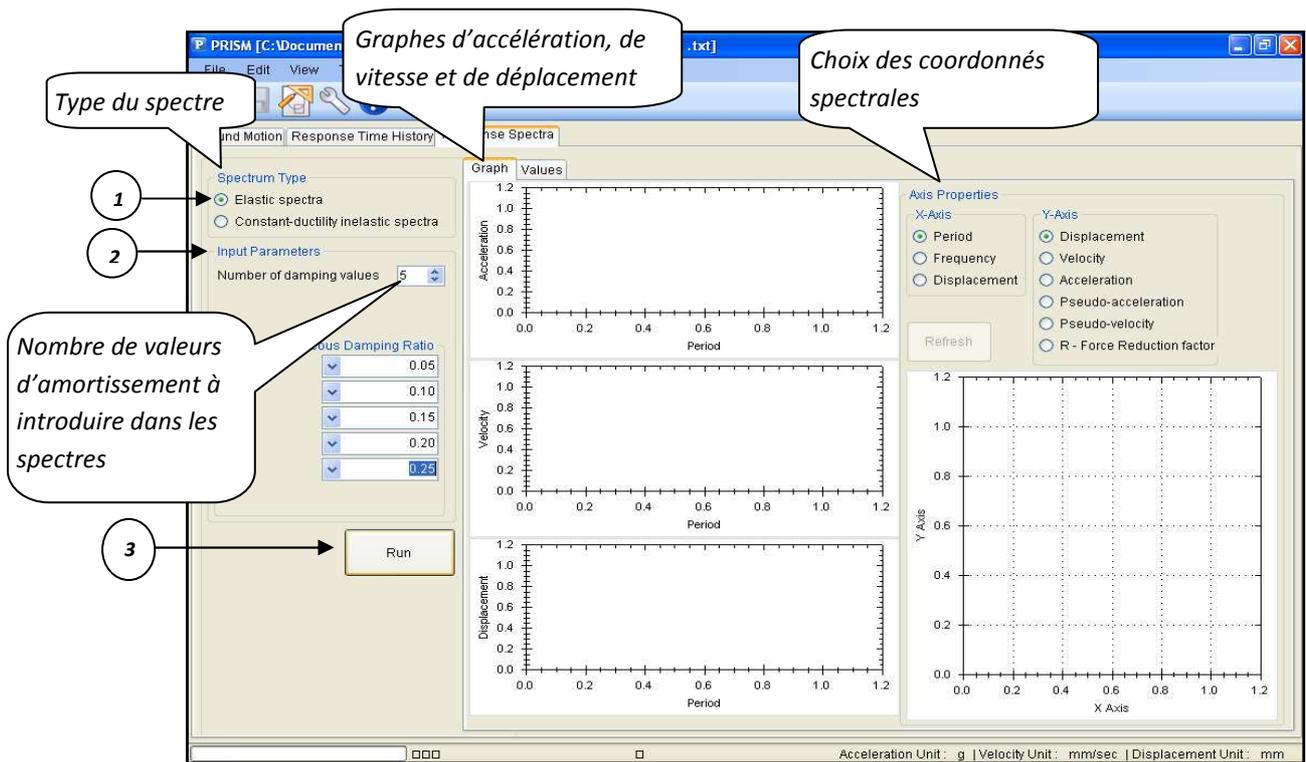


Figure III.7: Choix des axes de propriétés et introduction des paramètres nécessaires

Etape 5

Des spectres de réponse sous forme d'accélération, de déplacement ou bien de vitesse en fonction du temps sont obtenus (figure III.8).

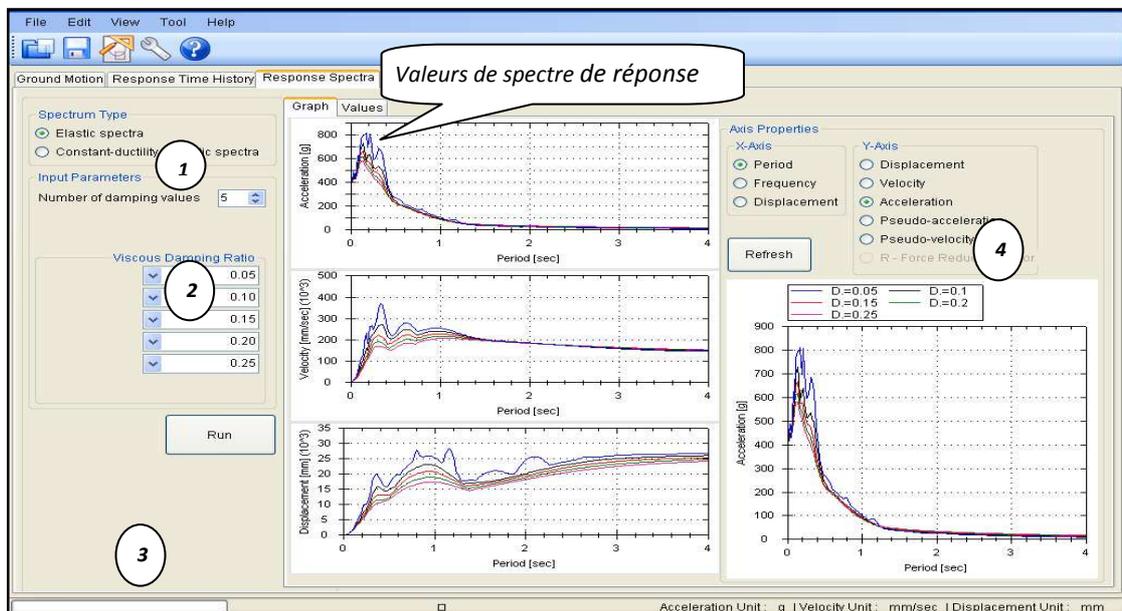


Figure III.8 : Spectres de réponse en fonction du temps

Etape 6

Arrivé à cette étape nous transformons les spectres de réponse (de forme accélération – temps (Sa – t)) en la forme (accélération – déplacement (Sa-Sd)) comme l’indiquent les figures (III.9, III.10) suivantes :

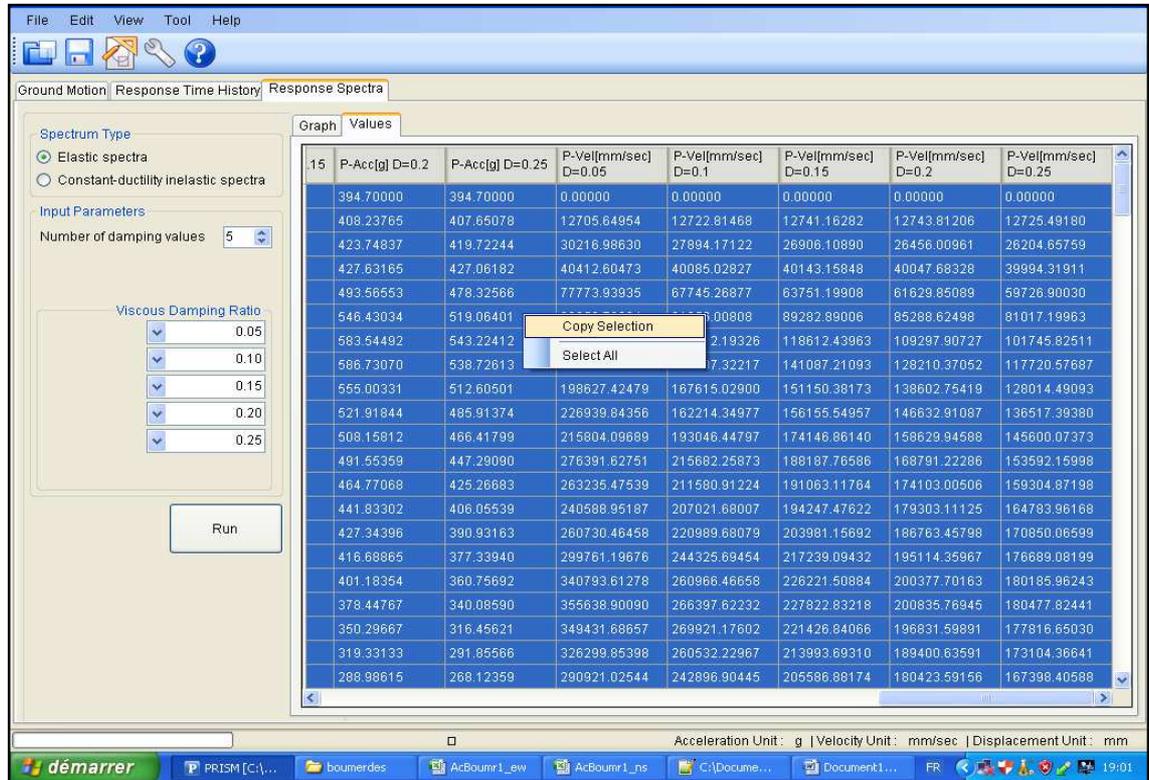


Figure III.9 : Valeurs de spectre de réponse

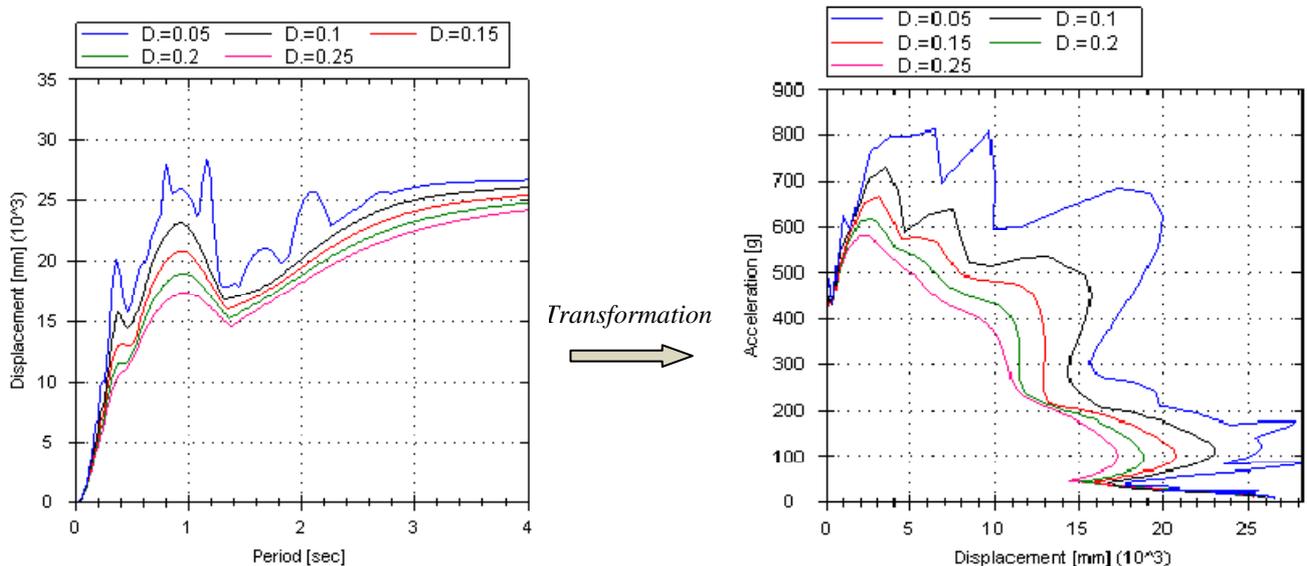


Figure III.10 : Transformation de spectres de réponse sous forme (accélération – période) en la forme (accélération – déplacement)

#### **III.4. Formulation des spectres de réponse élastique et des spectres réduits en fonction des enregistrements**

Dans cette partie du travail, nous formulons des spectres de réponse élastiques, puis des spectres de réponse réduits sous la forme d'accélération [ $S_a$  ( $m/s^2$ ) et du temps  $T$ (s) période correspondant au séisme proche ou lointain enregistrés dans les deux directions (Est-Ouest) et (Nord-Sud)]. Puis Ces spectres de réponse sont transformés sous la forme [accélération  $S_a$  ( $m/s^2$ ) et du déplacement  $S_d$  (m)].

III.4.1. Formation des spectres de réponse pour le séisme lointain (Azzazga)

III.4.1.1. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement (Est-Ouest)

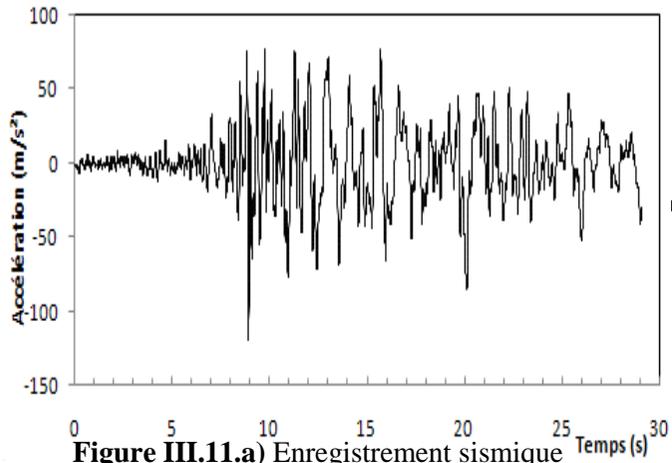


Figure III.11.a) Enregistrement sismique (Accélérogramme Est-Ouest)

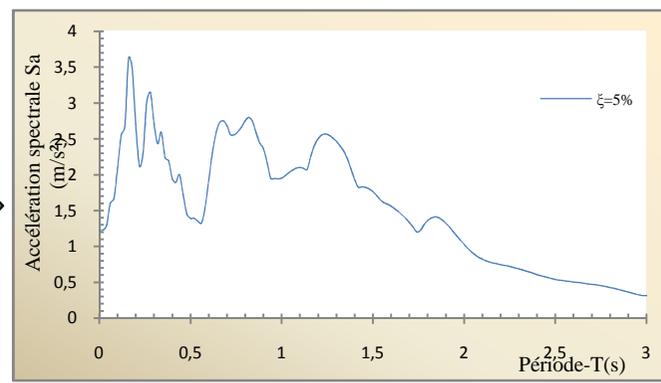


Figure III.11.b) Spectre de réponse élastique dans un diagramme  $S_a=f(T)$

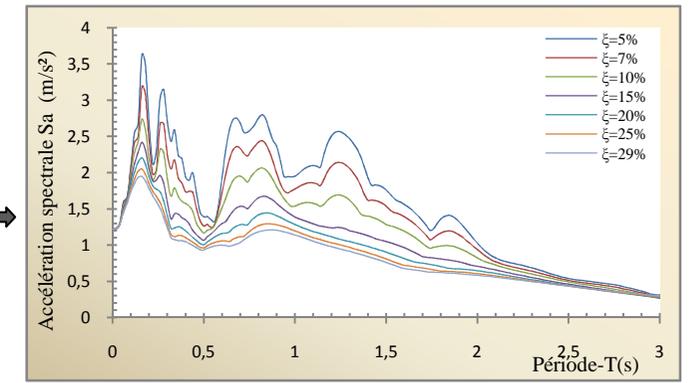


Figure III.11.c) Spectres de réponse réduits dans un diagramme  $S_a=f(T)$

III.4.1.2. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement (Nord – Sud)

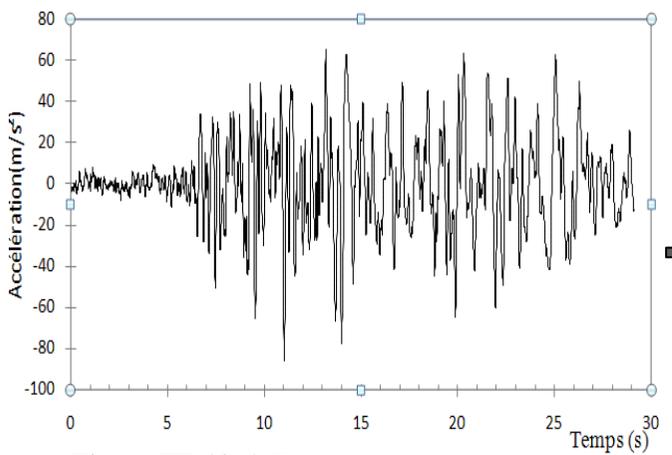


Figure III.12.a) Enregistrement sismique (Accélérogramme Nord-Sud)

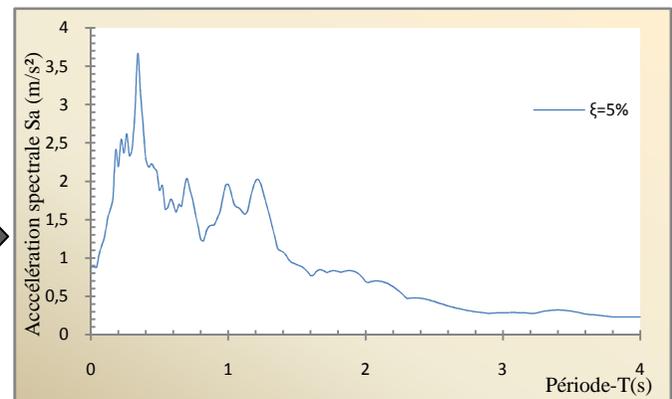


Figure III.12.b) Spectre de réponse élastique dans un diagramme  $S_a=f(T)$

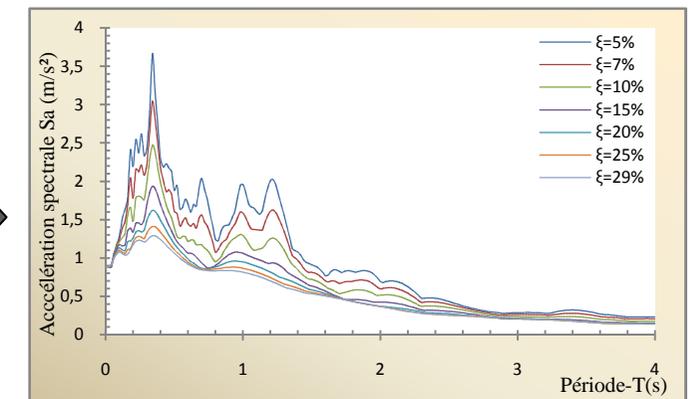
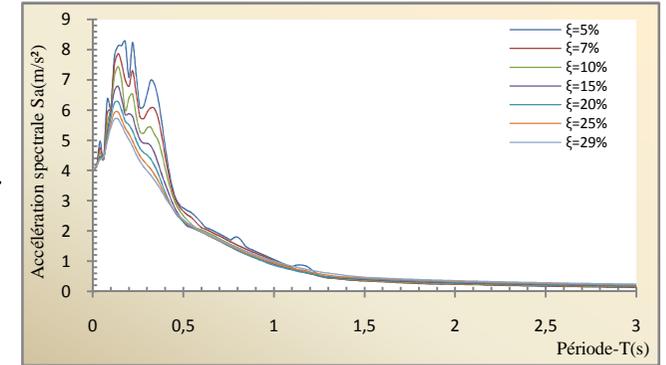
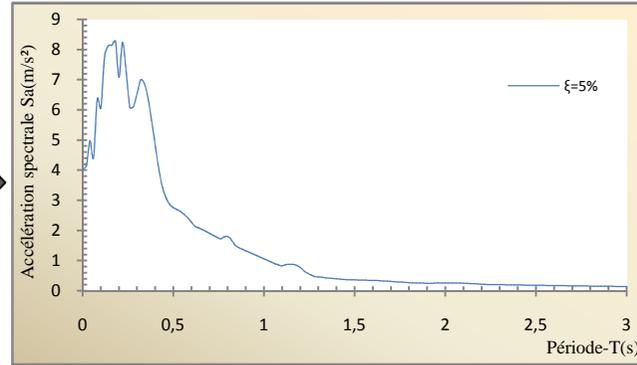
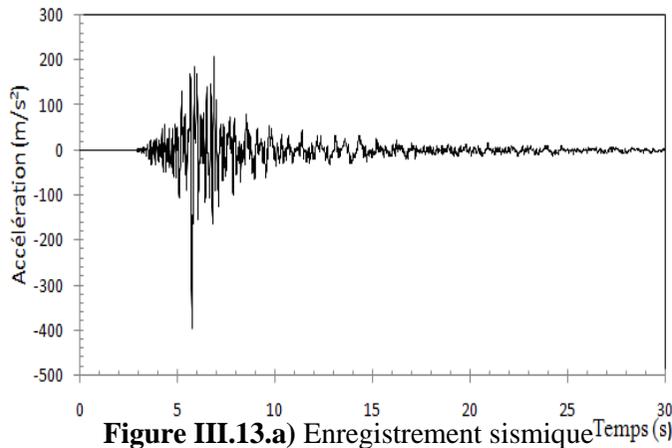


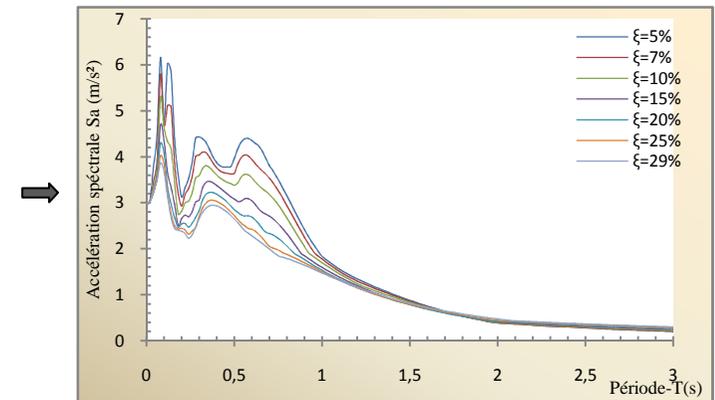
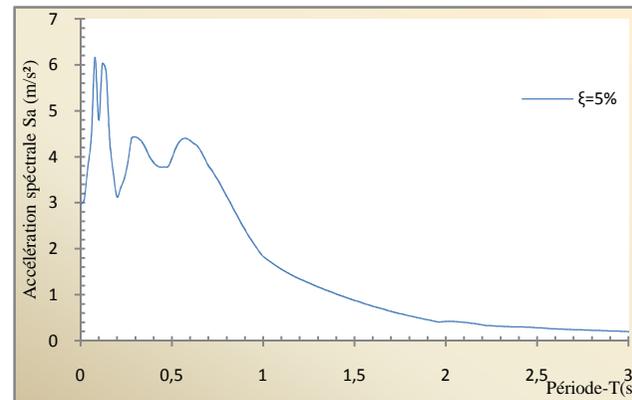
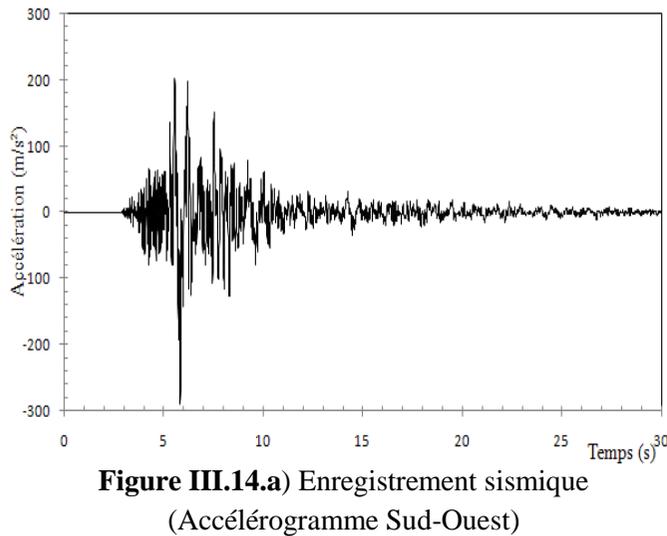
Figure III.12.c) Spectres de réponse réduits dans un diagramme  $S_a=f(T)$

III.4.2. Formation des spectres de réponse pour le séisme proche (Boumerdes)

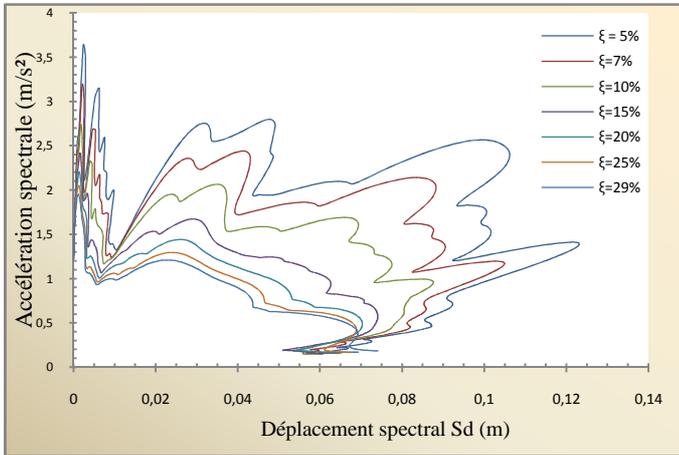
III.4.2.1. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement (Est-Ouest)



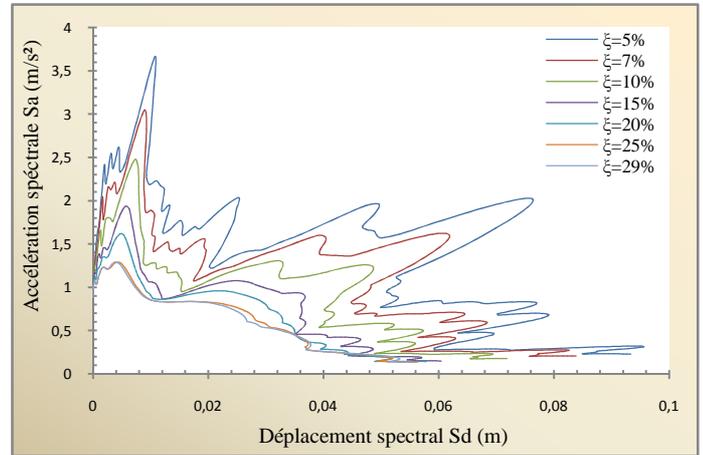
III.4.2.2. Spectres de réponse dans le cas d'enregistrement (Nord-Sud)



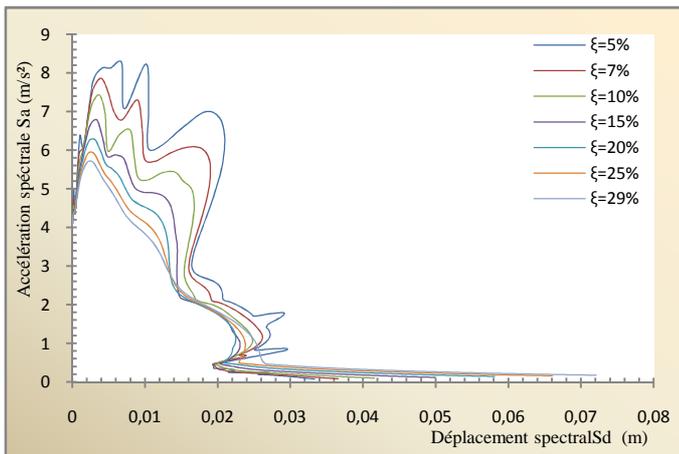
Nous indiquons clairement dans les figures suivantes les spectres de réponses élastiques et réduits de diagrammes  $S_a = g(S_d)$  utilisés dans notre travail. Ces spectres correspondent à chaque type du séisme (proche et lointain) selon les deux directions (Est-Ouest) et (Nord-Sud) (Figure III.15 a, III.15 b III.16 a et III.16 b).



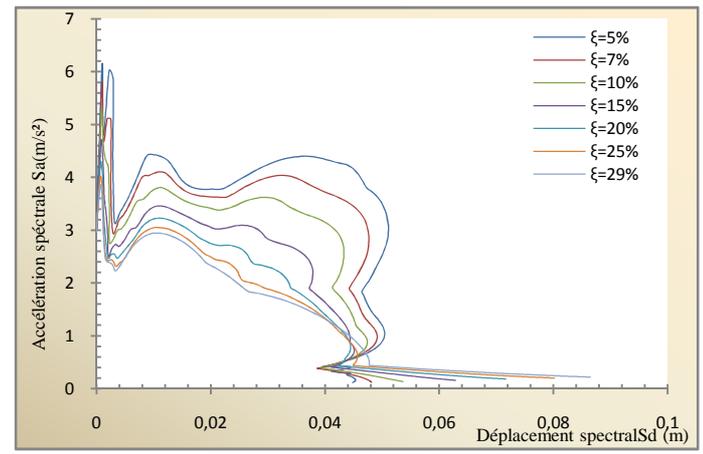
**Figure III.15.a)** Conversion des spectres de réponse dans un diagramme  $S_a = g(S_d)$  (Azzazga "Est- Ouest")



**Figure III.15.b)** Conversion des spectres de réponse dans un diagramme  $S_a = g(S_d)$  (Azzazga "Nord-Sud")



**Figure III.16.a)** Conversion des spectres de réponse dans un diagramme  $S_a = g(S_d)$  (BOUMERDES "Est- Ouest")



**Figure III.16.b)** Conversion des spectres de réponse dans un diagramme  $S_a = g(S_d)$  (BOUMERDES "Nord-Sud")

### III.5. Conclusion

Une fois ce travail accompli, nous sommes arrivés à formuler des spectres de réponses élastiques et réduits à partir des données accélérométriques obtenues à partir des quatre (04) accélérographes choisis, dont deux (02) installés dans la région d'Azzazga et deux autres à Boumerdes et cela dans les deux directions (Est-Ouest) et (Nord-Sud). Par la suite nous allons évaluer l'effet des séismes proches et lointains sur la performance sismique des structures en se basant principalement sur ces spectres obtenus.

# CHAPITRE IV

## Méthode d'estimation du point de performance

## IV.1.Introduction

Contrairement à certaines actions dynamiques comme le vent ou les effets d'une explosion qui engendrent directement des forces sur une structure, l'action sismique sur une construction consiste en l'application d'un déplacement variable à sa base. Pourtant, la plupart des codes de conception parasismique conduisent à représenter l'action sismique comme une force statique équivalente au même titre que les autres actions susmentionnées.

La double nécessité de mieux décrire la performance attendue d'une nouvelle construction soumise à un séisme et de mieux évaluer la vulnérabilité sismique d'un bâtiment déjà existant a conduit les chercheurs à développer des méthodes de calculs de plus en plus performantes et cherchent à pousser ces structures à répondre à des sollicitations importantes avec des sections économiques avec moins d'endommagement possible. Un des calculs et c'est le plus indiquée est le calcul non linéaires des structures.

Ces méthodes non linéaires s'appuient souvent sur une modélisation du comportement non linéaire des structures et sur un calcul statique équivalent de la réponse de la structure qui est représentée par une courbe reliant l'effort tranchant résultant à la base et le déplacement en tête connu sous le nom de " *PUSHOVER*" ou " *POUSSE PROGRESSIVE*".

## IV.2. L'analyse PUSHOVER

### IV.2.1. Introduction

Depuis de nombreuses années, les méthodes de calcul élastique simplifiées ont été quasi systématiquement utilisées dans le dimensionnement des structures en béton armé. Elles sont faciles à mettre en œuvre et bien assimilées par l'ingénieur. Cependant, l'approche élastique ne peut fournir qu'une compréhension limitée du comportement sismique réel. La réponse non linéaire d'une structure en termes de déplacements, ductilité, distribution des dommages, mode de ruine, est largement inexplorée. Certaines règles, comme celles de l'ATC40 et celles de FEMA273, conscientes de ces inconvénients, recommandent l'utilisation des méthodes simplifiées non linéaires. Dans le cas de bâtiments peu irréguliers, un calcul statique PUSHOVER basé sur un modèle de comportement non linéaire pourrait donner de bonnes indications sur le comportement sismique de la structure.

### IV.2.2. Définition de l'analyse PUSHOVER

L'analyse ' PUSHOVER 'est une procédure statique non-linéaire dans laquelle la structure subit des charges latérales en augmentant l'intensité des charges jusqu'à ce que les modes de ruine commencent à apparaître dans la structure. Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme

de courbe reliant l'effort tranchant à la base au déplacement du sommet de la structure [20] (figure IV.1).

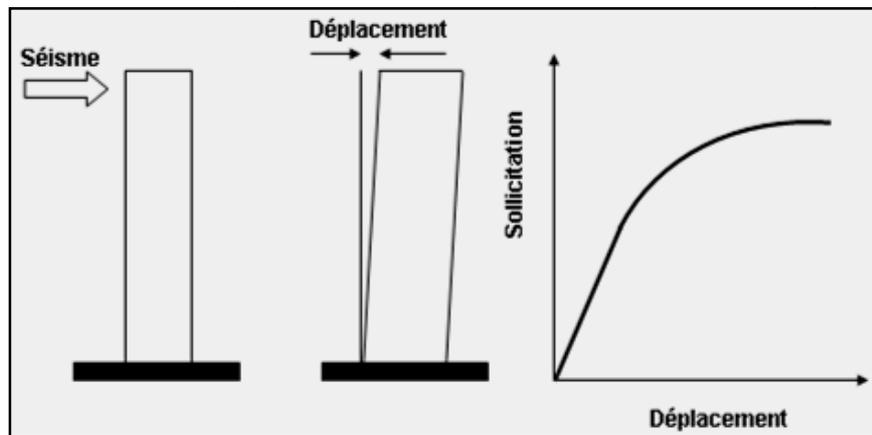


Figure IV.1. Signification physique de la courbe de capacité

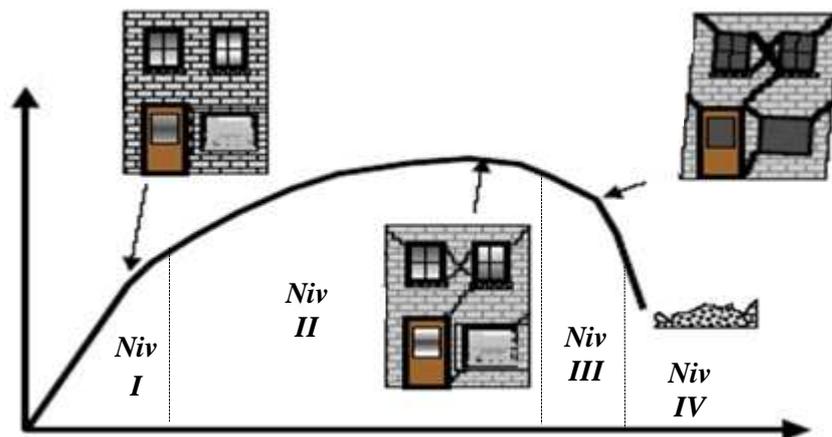


Figure IV.2. Niveaux d'endommagements décrits par une courbe de capacité

La courbe reliant la sollicitation au déplacement peut être décomposé en quatre (04) segments correspondent à des niveaux d'endommagement suivants (figure IV.2) :

- **Le premier niveau (I)** correspond au comportement élastique de la structure et représente le niveau de conception parasismique habituel. Il indique par conséquent un état d'endommagement superficiel (ou bien de non endommagement).
- **Le deuxième niveau (II)** d'endommagement correspond à un niveau de dommage contrôlé. La stabilité de la structure n'est pas en danger, mais toutefois un endommagement mineur est susceptible de se développer.

- **Le troisième niveau (III)** représente un état d'endommagement avancé, la stabilité de la structure est en danger.
- **Le quatrième niveau (IV)** la structure est susceptible de l'effondrer et ne présentant aucune capacité à la résistance.

#### IV.2.3. Origine de l'analyse PUSHOVER

L'analyse statique PUSHOVER est basée sur l'hypothèse que la réponse d'une structure peut être assimilée à celle d'une structure à un seul degré de liberté équivalent.

Les chercheurs ont montré que ces hypothèses donnent de bons résultats concernant la réponse sismique (déplacement maximal) donnée par le premier mode de vibration de la structure simulé par un système linéaire équivalent [20].

#### IV.2.4. But de l'analyse PUSHOVER

Le but de l'analyse PUSHOVER est de décrire le comportement réel de la structure et d'évaluer les différents paramètres en termes de sollicitations et déplacements dans les éléments de la structure. L'analyse PUSHOVER est supposée fournir des informations sur plusieurs caractéristiques de la réponse qui ne peuvent être obtenues par une simple analyse élastique :

- L'estimation des déformations dans le cas des éléments qui doivent subir des déformations inélastiques afin de dissiper de l'énergie communiquée à la structure par le mouvement du sol.
- La détermination des sollicitations réelles sur les éléments fragiles, telles que les sollicitations sur les assemblages de contreventements, les sollicitations axiales sur les poteaux, les moments sur les jonctions poteau-poutre, les sollicitations de cisaillement.
- Les conséquences de la détérioration de la résistance des éléments sur le comportement global de la structure ce qui permet de déterminer les points forts et les points faibles de notre structure.
- L'identification des zones critiques dans lesquelles les déformations sont supposées être grandes.
- L'identification des discontinuités de résistance en plan et en élévation qui entraînent des variations dans les caractéristiques dynamiques dans le domaine inélastique.
- L'estimation des déplacements inter-étage qui tiennent compte des discontinuités de la rigidité et de la résistance qui peut être utilisés dans le contrôle de l'endommagement [20].

#### IV.2.5. Avantages, Inconvénients et Limites de la méthode

En ce qui concerne le renforcement de bâtiments existants, les données précises concernant les propriétés mécaniques réelles sont parfois difficiles à obtenir et il faudra par conséquent faire des hypothèses concernant leurs valeurs, sur la base des règles en vigueur lors de la construction de l'ouvrage par exemple. Ces hypothèses seront appuyées également par des sondages et des prélèvements locaux. En plus des propriétés intrinsèques des matériaux, il faut connaître l'évolution de celles-ci au cours du temps (dégradation du béton, corrosion de l'acier, etc...). Les lois de comportement des matériaux doivent être aussi complètes que possibles, incluant entre autres les dégradations de raideur en phase plastique et les résistances résiduelles. Cette étape est souvent délicate, d'autant que l'analyse PUSHOVER est sensible à ces données [20].

L'établissement de la courbe de capacité et l'analyse modale requièrent des moyens numériques performants. Une autre difficulté de cette méthode est qu'elle n'est pas déterministe. Elle intervient dans une étape de vérification. Son utilisation en dimensionnement se fait donc de manière itérative. Par contre, elle permet de s'affranchir du coefficient de comportement. En comparant les courbes de capacité avant et après renforcement, on peut visualiser l'influence des mesures adoptées. De plus, elle permet de prendre en considération les phénomènes non linéaires comme la formation de rotules plastiques ou la fissuration du béton. Néanmoins, pour cela il faut être en mesure de déterminer les zones où ces phénomènes vont se produire ainsi que leur chronologie.

Ensuite, il faut ôter du modèle, au fur et mesure, les éléments ayant subi une rupture et qui ne conservent pas de rigidité résiduelle. Il faut alors s'assurer que cette opération ne remet pas en cause le comportement dynamique du modèle. Des algorithmes ont été développés pour déterminer la courbe de capacité et son modèle bilinéaire dans le cas de portiques en béton par exemple.

Certains logiciels de calcul de structure utilisent la méthode PUSHOVER (exemple Robot millenium, SAP, ETABS). Comme le met en évidence le règlement américain, il s'agit d'une méthode statique.

Il faut donc s'assurer de la bonne représentativité des efforts statiques équivalents par rapports aux efforts dynamiques. De plus comme les autres méthodes statiques, La méthode PUSHOVER ne permet pas de tenir compte directement des effets du second ordre liés au caractère dynamique de la sollicitation sismique, ni des dissipations d'énergie par hystérésis ou de la fatigue. La méthode PUSHOVER donne des résultats satisfaisants lorsque le comportement de l'ouvrage est essentiellement régi par le mode fondamental. Par contre, là où la contribution des modes supérieurs sont non négligeables, il convient de faire une analyse dynamique linéaire pour vérifier leurs contributions [20].

### IV.3. Evaluation du point de performance

Il existe différentes méthodes d'évaluation du point de performance à savoir les règlements FEMA 273 et 356, ATC40 et Eurocode 8.

Dans notre recherche nous intéressons uniquement au règlement de l'ATC40.

#### IV.3.1. Approche globale du règlement ATC40

La méthode d'analyse proposée dans l'ATC 40 est désignée par la "demande en capacité". Le principe de cette méthode consiste à superposer une courbe représentant la capacité résistante d'une structure issue d'une analyse statique non linéaire "PUSHOVER" avec une courbe représentative de la sollicitation apportée par le séisme dérivé du spectre de réponse élastique à 5% d'amortissement. L'intersection de ces deux courbes représente un point de performance (point de fonctionnement) permettant d'évaluer le déplacement maximal que la structure subira et subséquent son degré d'incursion dans le domaine plastique ce qui permet d'évaluer l'amortissement équivalent correspondant (figure IV.3).

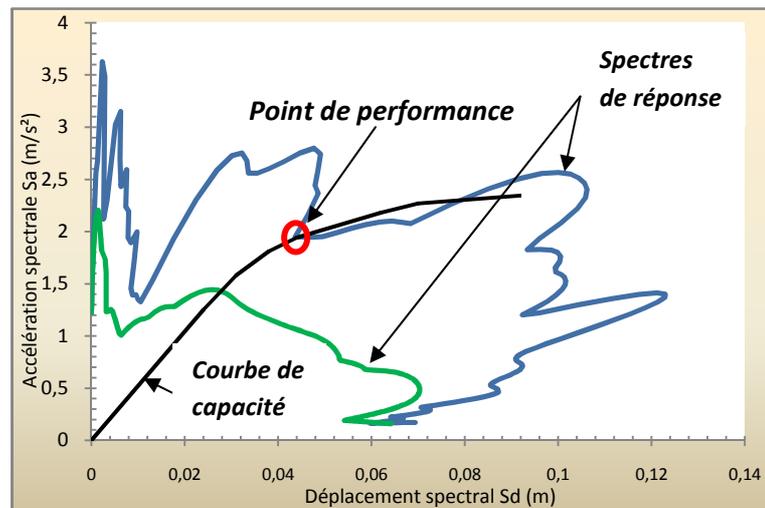


Figure IV.3. Détermination du point de performance

#### IV.3.2. Etapes de la méthode choisie dans l'ATC40

1. Conversion du spectre de réponse ( $S_a$ ,  $T$ ) en forme ADRS (Accélération-Déplacement de la Réponse Spectrale) en d'autre terme ( $S_a$ ,  $S_d$ ).
2. Détermination de la courbe de capacité de la structure sous forme ADRS.

3. Superposition des deux courbes de capacité et de demande afin de déterminer le point de performance qui est obtenu par l'intersection de deux courbes.

#### IV.3.2.1. La courbe de capacité

La courbe de capacité est une représentation graphique qui relie l'effort tranchant à la base au déplacement au sommet d'une structure, elle est obtenue par un calcul statique non linéaire (analyse PUSHOVER). L'obtention de cette courbe nécessite les étapes suivantes :

- **Construction de la courbe de capacité en format ( $S_a-S_d$ ) en forme ADRS**

La courbe de capacité est une représentation graphique qui définit la capacité d'une structure vis-à-vis du chargement horizontal, elle est exprimée habituellement dans la représentation  $V=f(\Delta_s)$  (Figure IV.4).

avec :  $V$  : Effort tranchant à la base du bâtiment.

$\Delta_s$  : Déplacement au sommet de la structure.

Cette courbe est ensuite transformée dans la représentation ( $S_a-S_d$ ) par l'intermédiaire des paramètres propres au premier mode de déformation (figure IV.5) [15, 16]. On a donc :

$$S_a = V\alpha_1 / W \quad (\text{IV.1})$$

L'effort normal à la base est divisé par la masse vibrante pour obtenir l'accélération correspondante (la force étant la masse par accélération) et comme on prend en considération que le premier mode, on doit diviser le résultat ainsi obtenu par le facteur de masse vibrante dans ce mode [15, 16].

$$S_d = \Delta_s / (P_{f1} \times \phi_{1s}) \quad (\text{IV.2})$$

Par contre, le déplacement au sommet de la structure est divisé par le facteur de participation du premier mode [17, 18].

avec :

$$\alpha_1 \text{ Coefficient de masse modale;} \quad \alpha_1 = \frac{(\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i)^2}{(\sum_{i=1}^{i=n} m_i)(\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i^2)} \quad (\text{IV.3})$$

$$P_{f1} : \text{Facteur de participation du premier mode ;} \quad P_{f1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i}{\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i^2} \quad (\text{IV.4})$$

$\phi_{1s}$  : Amplitude au sommet, du premier mode qui est normalisé à un 1.

$W$  : poids total de la structure.

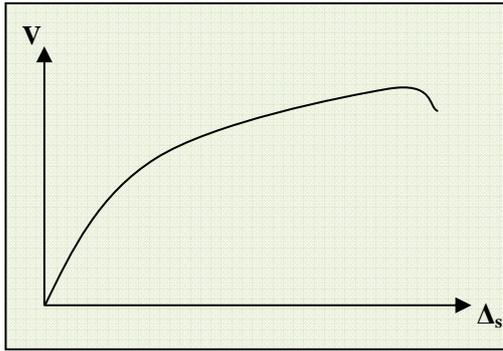


Figure IV.4. Courbe de capacité,  
format (V- $\Delta_s$ )

Transformation  
→

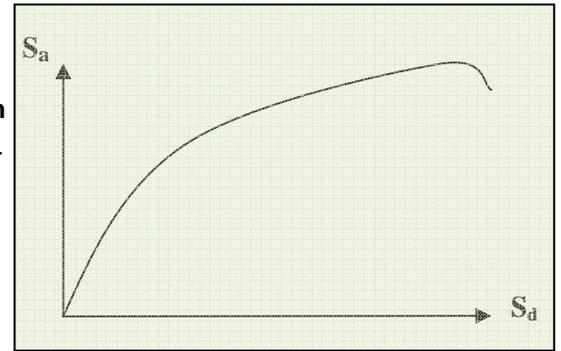


Figure IV.5. Courbe de capacité,  
format ( $S_a$ - $S_d$ )

#### IV.3.2.2. La demande sismique

La notion la plus répandue pour représenter un séisme est le spectre de réponse qui nous fournit la réponse maximale d'un oscillateur linéaire soumis à un séisme. Cette courbe est simplement obtenue pour un oscillateur linéaire de masse ( $M$ ) de raideur ( $K$ ) et d'amortissement ( $C$ ) dont le déplacement relatif par rapport à son support est soumis à une excitation sismique représentée par l'enregistrement de l'accélérogramme choisi [19]. Cette courbe est obtenue de la façon suivante :

- **Construction de la courbe de demande sismique en format ( $S_a$ - $S_d$ )**

Dans la représentation classique des codes parasismiques, chaque point du spectre de réponse élastique est représenté dans un diagramme  $S_a = f(T)$ , pour un amortissement de type visqueux ( $\xi$ ) (Figure IV.6) [7].

avec :  $S_a$  : accélération spectrale

$T$  : période d'oscillation

Chacun des points précédents  $S_{ai} = f(T_i)$  est transformé dans un diagramme  $S_a = f(S_d)$  (Figure IV.7).

Où ( $S_d$ ) est le déplacement spectral donné par la relation (IV.5) [7].

$$S_d = \frac{T^2 \cdot S_a}{4 \cdot \pi^2} \quad (\text{IV.5})$$

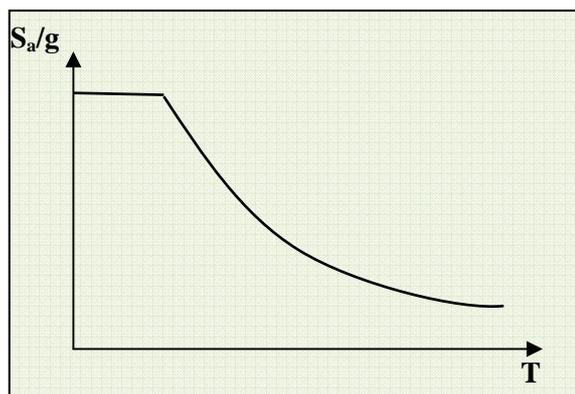


Figure IV.6. Le spectre de réponse, format (Sa/g-T)

Transformation

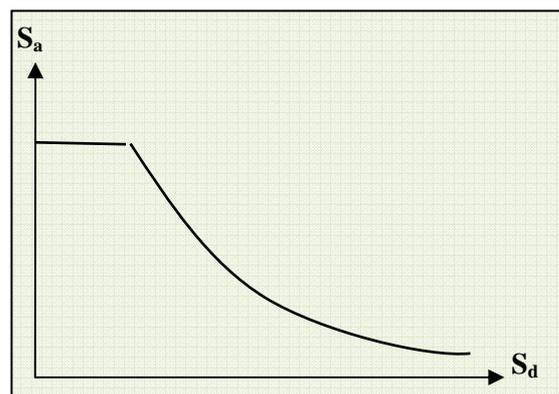


Figure IV.7. Le spectre de réponse, format (Sa-Sd)

### IV.3.3. Calcul du point de performance selon ATC40 (procédure C)

Il existe trois procédures dans le guide ATC40 pour le calcul du point de performance à savoir la procédure A, B et C. [10]. Pour évaluer le point de performance, la méthode graphique (procédure C) est la plus indiquée et la plus simple d'utilisation. Elle consiste en la superposition de la demande sismique et la capacité qui se présente sous un format  $(S_a-S_d)$ . Cette procédure [10], nécessite les étapes suivantes :

#### Etape 1

Nous développons le spectre de réponse à (5%) d'amortissement en format  $(S_a-S_d)$ , en passant par des étapes définies au paragraphe (IV.3.2.2).

#### Etape 2

Une fois le spectre à (5%) est développé, nous passons aux spectres réduits ( $\xi > 5\%$ ) (Figure IV.8).

L'amortissement effectif maximum  $(\xi_{\text{eff}})_{\text{max}}$  est un paramètre qui dépend directement de la typologie de la structure (tableau.1, Annexe A).

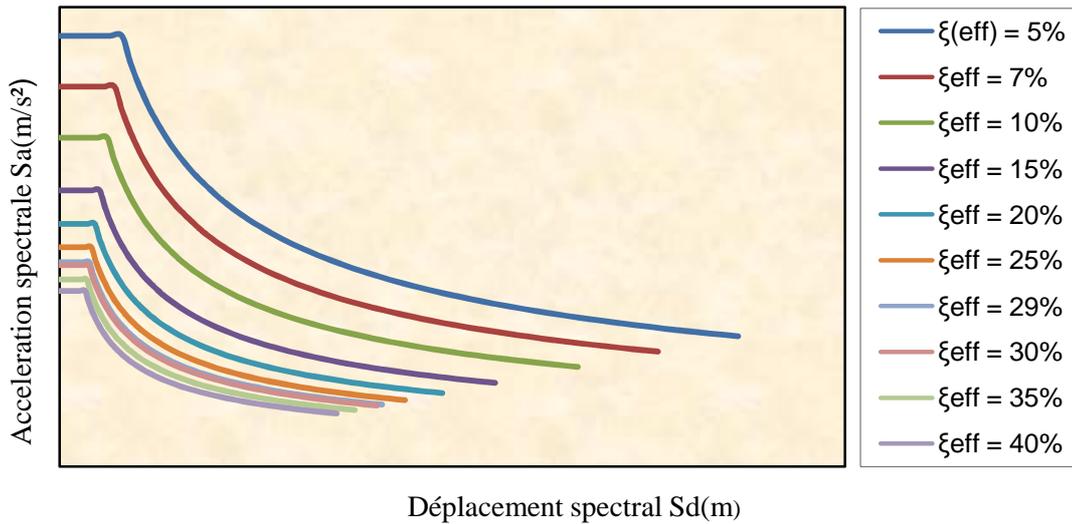


Figure IV.8. Spectres de réponse après la 2<sup>ème</sup> étape

**Etape 3 : Représentation spectrale de la capacité sismique**

Nous traçons la courbe de capacité sous la forme d'une représentation en format ( $S_a-S_d$ ) en passant par des étapes définies au paragraphe (IV.3.2.1), (figure IV.9).

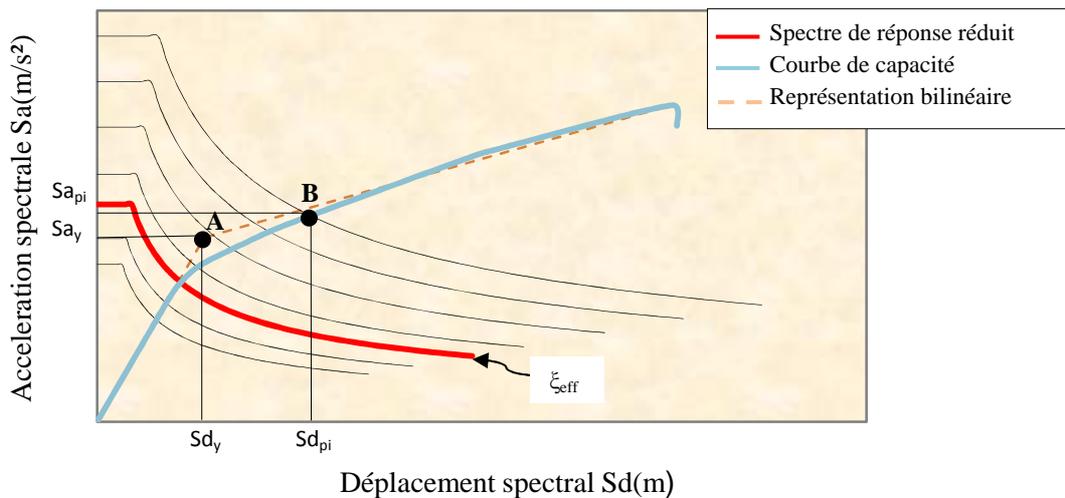


Figure IV.9. Représentation de spectre de réponse correspondant à l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ )

**Etape 4**

Nous développons ensuite la représentation bilinéaire du spectre de capacité qui est définie par un point (A) de coordonnées ( $S_{dy}- S_{ay}$ ) caractérisant les limites élastiques, et un point (B) de coordonnées ( $S_{dpi}-S_{api}$ ), déterminé par l'intersection de la courbe représentant la demande à 5% d'amortissement et la courbe représentant la capacité (figure IV.9).

**Etape 5**

Nous calculons les rapports

$$\left[ \begin{array}{c} \frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}} ; \frac{\frac{S_{a_{pi}}}{S_{a_y}} - 1}{\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}} - 1} \end{array} \right] \quad (IV.6)$$

**Etape 6 : Calcul de l'amortissement effectif**

Pour chaque typologie de structure (A, B et C) (annexe A), nous calculons les valeurs de l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) en fonction des rapports obtenus à l'étape 5 (voir tableaux annexe B).

La valeur de ( $\xi_{eff}$ ) peut également être calculée en utilisant la formule suivante :

$$\xi_{eff} = k\xi_0 + 5 = \frac{S_{a_y} \cdot S_{d_{pi}} - S_{d_y} \cdot S_{a_{pi}}}{S_{a_{pi}} \cdot S_{d_{pi}}} + 5(\%) \quad (IV.7)$$

avec :

$\xi_0$  : Amortissement visqueux équivalent tel que

$$\xi_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (IV.8)$$

$E_D$  : Energie dissipée par un comportement visqueux équivalent  
 $E_{S0}$  : Energie de déformation maximale

Et

- $k$  : Coefficient de capacité de dissipation d'énergie qu'est lié en particulier à la typologie et à l'âge de la structure, ainsi qu'à la durée du séisme qui se traduit par l'amortissement visqueux équivalent  $\xi_0$ .
- $S_{a_y}$  : Limite élastique en accélération
- $S_{d_y}$  : Limite élastique en déplacement

**Etape 7**

Nous traçons la tangente à l'origine (ligne 1) qui coupe le spectre de réponse à (5%) d'amortissement au point C, par la suite nous traçons une deuxième ligne (ligne 2) joignant l'origine et le point B (Figure IV.10).



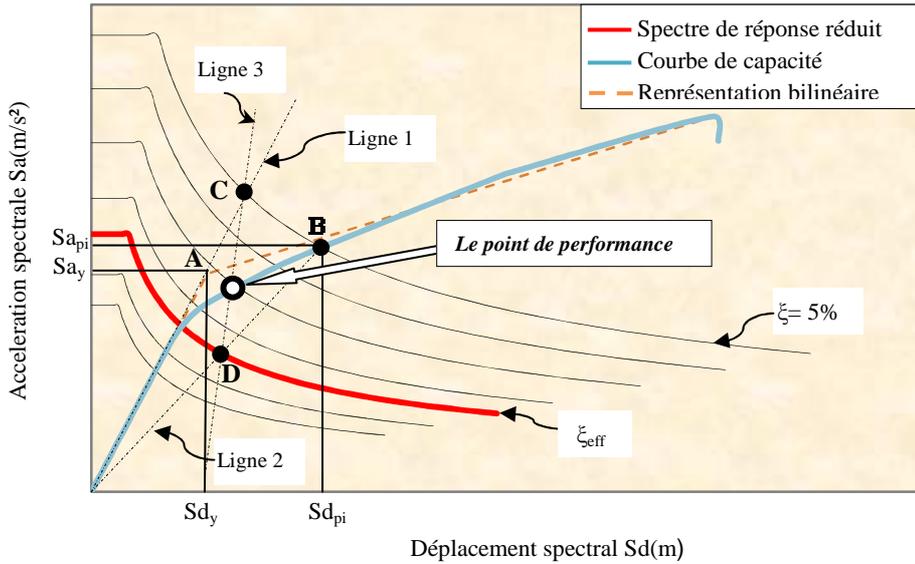


Figure IV.11. Evaluation du point de performance

IV.3.4. Etat de déplacement de la structure

Trois cas de demande sismique peuvent se présenter dans le déplacement de la structure :

IV.3.4.1. La demande est inférieure à la capacité

Le déplacement maximal qui peut être supporté par la structure est supérieur au déplacement imposé par le séisme (Figure IV.12). Dans ce cas, la structure ne s’effondre pas, mais elle subit des dommages que l’on peut estimer par la position du point de performance sur la courbe de capacité [24].

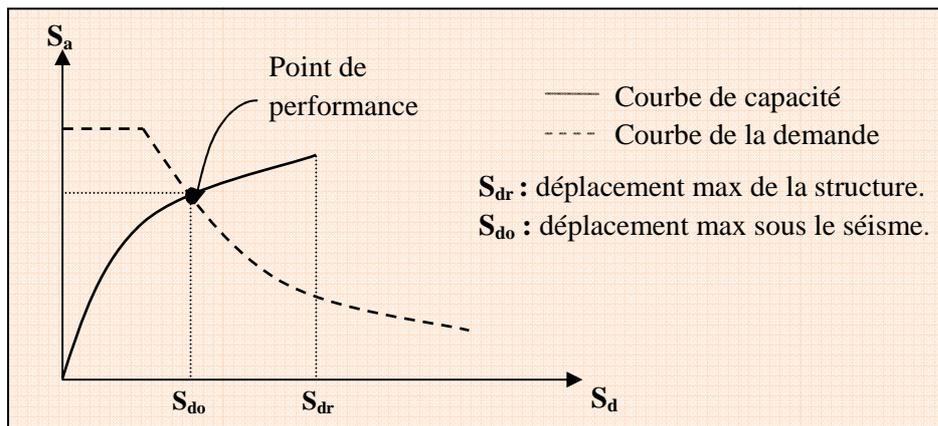


Figure IV.12. Courbes capacité-demande (cas où la demande est inférieure à la capacité)

#### IV.3.4.2. La demande est égale à la capacité

Le déplacement imposé par le séisme est égale au déplacement maximal de la structure [24] (Figure IV.13).

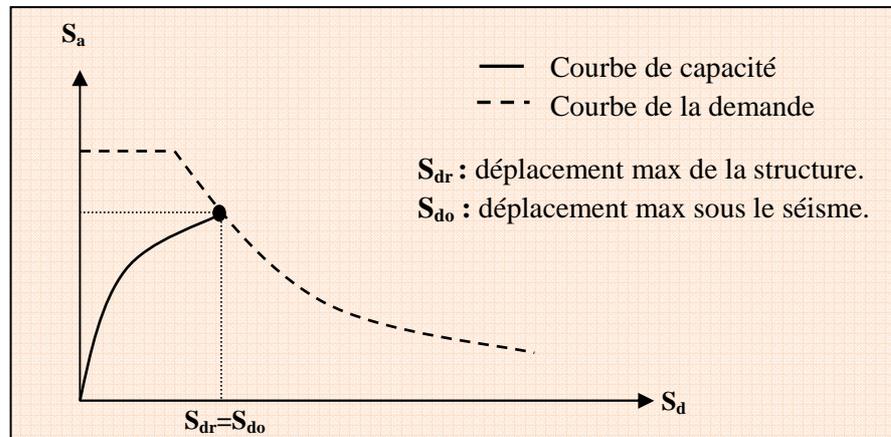


Figure IV.13. Courbes capacité-demande (cas où la demande est égale à la capacité)

#### IV.3.4.3. La demande est supérieure à la capacité

Le déplacement imposé par le séisme est supérieur à la capacité de la structure (Figure. IV.14), ce cas conduit à l'effondrement total ou presque de la structure [24].

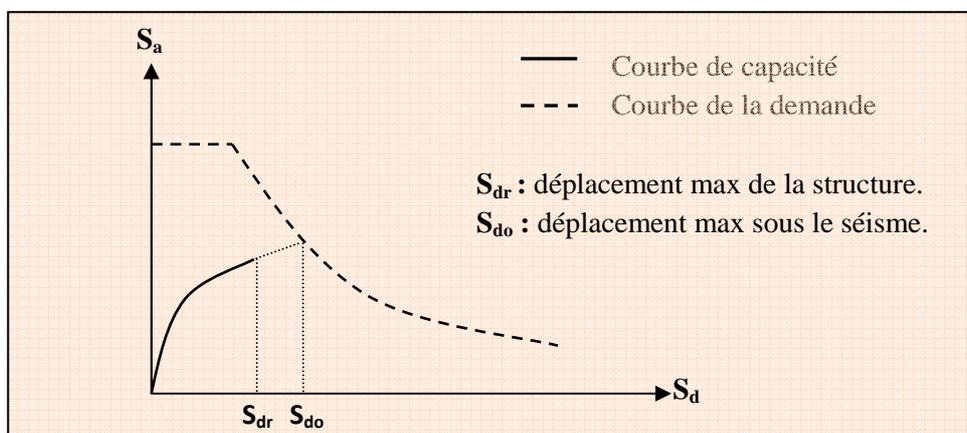


Figure IV.14. Courbes capacité-demande (cas où la demande est supérieure à la capacité)

### IV.3.5. Estimation des degrés des dommages

#### IV.3.5.1. L'échelle de dommage utilisée

L'échelle de dommage utilisée est l'échelle macrosismique européenne EMS98 [20]. Cette échelle comprend cinq (05) degrés de dommage pour les bâtiments en béton armé (voir annexe) [7, 10].

#### IV.3.5.2. Evaluation des dommages

La courbe de capacité est divisée en cinq(05) intervalles qui correspondent aux cinq(5) niveaux de dommage de l'échelle EMS98 (Annexe D) (Figure IV.15).

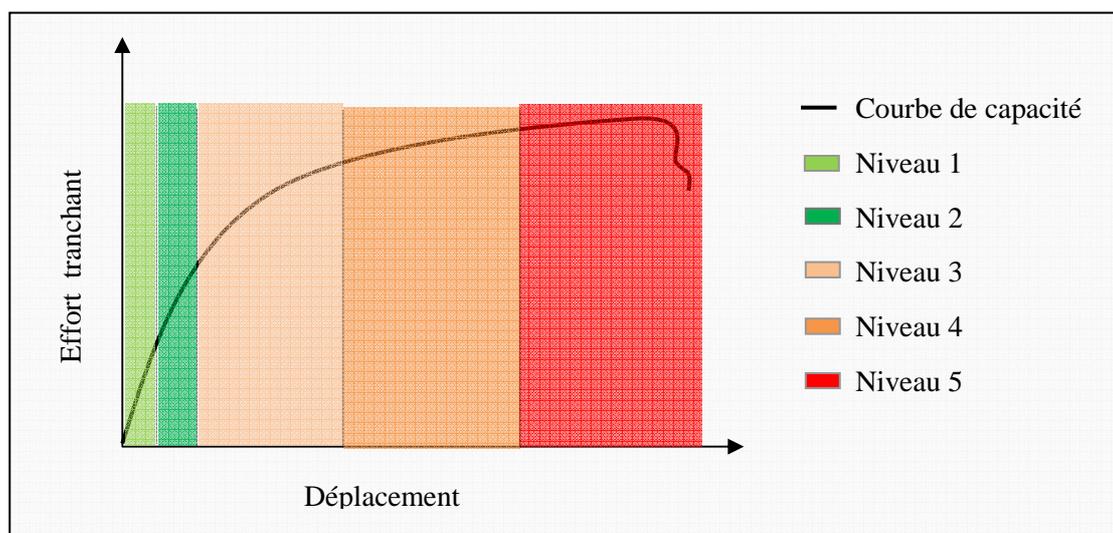


Figure IV.15. Niveaux d'endommagement décrits par une courbe de capacité

#### Niveau 1

Correspond au comportement élastique de la structure et représente le niveau de conception parasismique habituel.

#### Niveau 2

Correspond à un niveau de dommage contrôlé, il indique par conséquent un état d'endommagement superficiel (ou bien de non endommagement).

#### Niveau 3

La stabilité de la structure n'est pas en danger, mais toutefois un endommagement mineur est susceptible de se développer.

**Niveau 4**

Représente un état d'endommagement avancé, sa stabilité est en danger.

**Niveau 5**

La structure est susceptible d'effondrement, et elle ne présente aucune capacité de résistance.

Le déplacement spectral pour chaque domaine de dommage est donné par le tableau (IV.1) [3, 15, 16].

Degré des dommages	Déplacement spectral
DG1	$S_d = 0,4 S_{dy}$
DG2	$S_d = 0,8 S_{dy}$
DG3	$S_d = S_{dy} + 0,25 (S_{du} - S_{dy})$
DG4	$S_d = 0,75 S_{du}$
DG5	$S_d = S_{du}$

**Tableau IV.1. Degrés des dommages**

**Remarque :**

La limite élastique  $S_{dy}$  et la limite ultime  $S_{du}$  sont déterminées à partir de la représentation bilinéaire de la courbe de capacité.

**IV.4. Conclusion**

Afin d'estimer les degrés des dommages sur la courbe de capacité et les déplacements spectraux qui leurs correspondent, l'état d'endommagement de la structure sera défini par la position du point de performance.

# CHAPITRE V

## **Application de la méthode de performance sismique sur les bâtiments auto stables étudiés**

## **V.1. Introduction**

Comme application, nous avons choisi quatre (04) bâtiments en portiques auto-stables en béton armé implantés dans deux régions différentes ; l'une considérée comme une zone lointaine et l'autre considérée comme proche à savoir BOUMERDES et AZZAZGA.

Dans cette application nous montrons dans un premier temps l'effet des séismes lointains et proches sur les structures et dans un deuxième temps l'influence du paramètre hauteur (qui est un paramètre important dans le règlement Algérien (RPA)) sur leurs comportements.

La comparaison se fera en deux étapes, dans un premier temps entre les deux séismes et ensuite entre les deux séismes et le règlement parasismique Algérien (RPA99/V2003).

## **V.2. Présentation et description des bâtiments**

Les bâtiments sont à usage d'habitation constitués de portiques auto-stables en béton armé, avec des remplissages en maçonnerie, qui sont implantés sur un même sol, classé selon le RPA 99 en site  $S_2$  (site ferme) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement  $V_s \geq 400$  m/s et des périodes de transitions spectrales  $T_1$ ,  $T_2$  respectivement de valeur 0.15 et 0.40s.

## **V.3. Caractéristiques géométriques et dynamiques des bâtiments**

### **V.3.1. Caractéristiques géométriques des bâtiments**

Les caractéristiques géométriques des bâtiments sont résumées dans le tableau (IV.1) et le coffrage des bâtiments sont présentés sur les figures (V.1, V.2 et V.3).

Travées		Dimensions (m)	
A-B		3.80	
B-C		2.80	
C-D		3.80	
D-E		3.80	
1-2		3.50	
2-3		2.80	
3-4		3.50	
4-5(console)		1.45	
Poutres (cm <sup>2</sup> )			
Principales		Secondaires	
(25x40)		(25x30)	
Poteaux (cm <sup>2</sup> )			
RDC		Etage courant	
(35x35)		(35x35) (30x30)	
Hauteur totale du bâtiment (R+3).....12.24m.			
Hauteur totale du bâtiment (R+4).....15.30m.			
Hauteur totale du bâtiment (R+5).....18.36m.			
Hauteur totale du bâtiment (R+6).....21.42m.			
Hauteur de RDC.....3.06m.			
Hauteur de l'étage courant.....3.06m.			
Longueur totale(Lx).....14.20m.			
Largeur totale(Ly).....9.80m.			

Tableau V.1. Caractéristiques géométriques des bâtiments

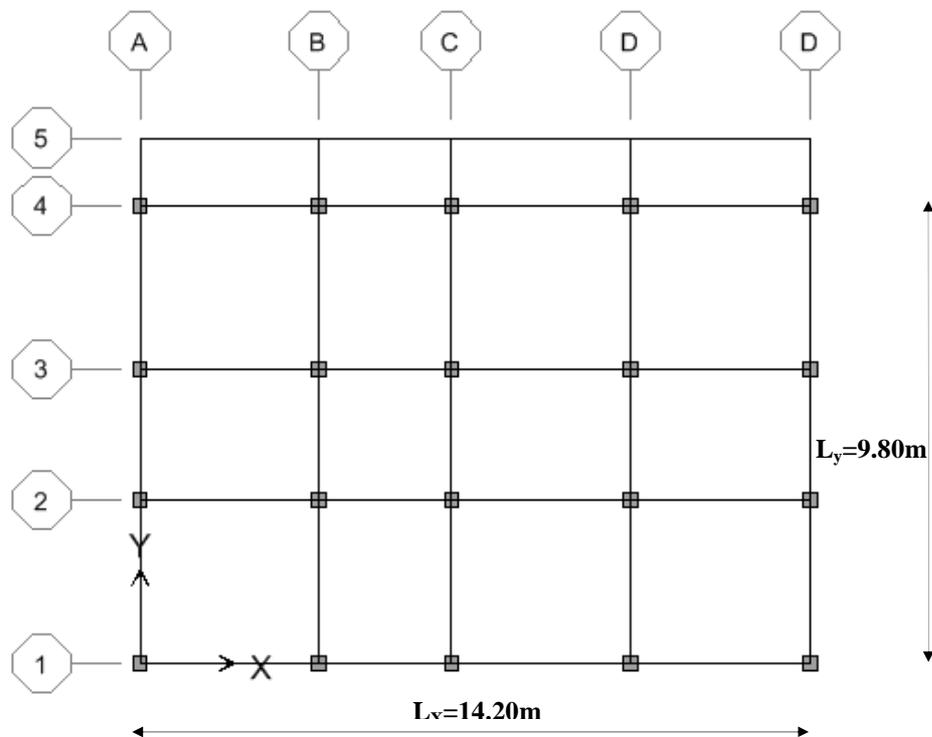


Figure V.1. Vue en plan des bâtiments étudiés

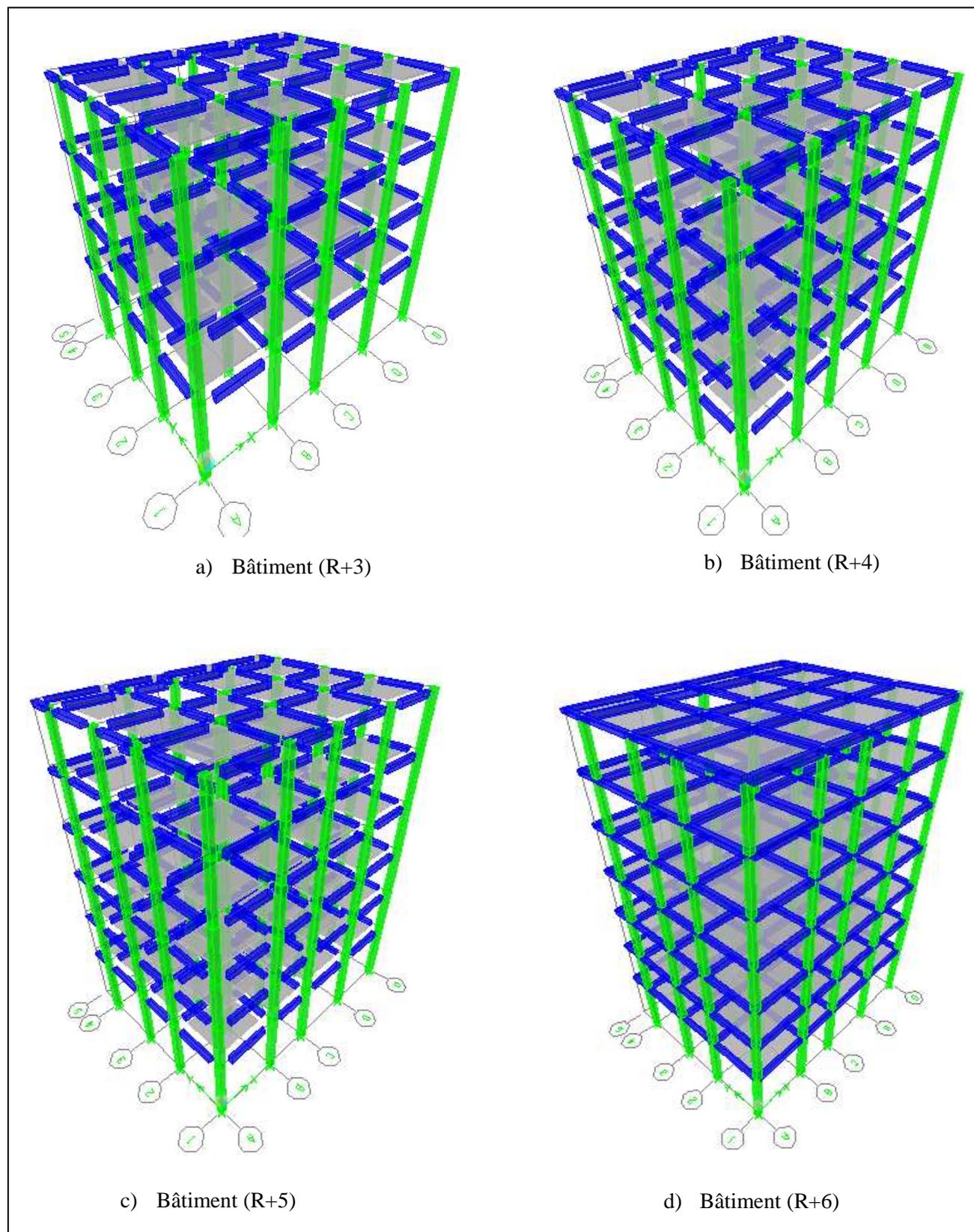


Figure V.2. Vue en 3D des bâtiments étudiés

### V.3.2. Caractéristiques dynamiques des bâtiments

#### V.3.2.1. Les masses prises en compte

Les masses prises en compte pour le montage des modèles d'oscillateurs pour les bâtiments proviennent des :

- Charges permanentes (poids propre de la structure).
- Charges d'exploitation.

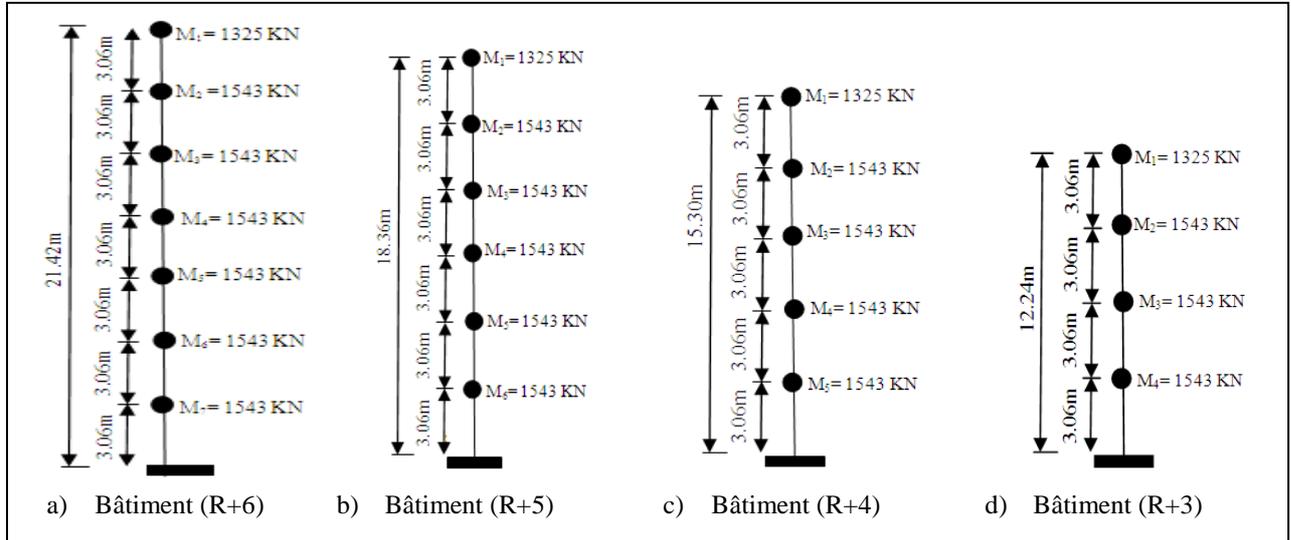


Figure V.3. Modèles d'oscillateurs des bâtiments

#### V.3.2.2. La déformée selon le premier mode de vibration

La déformée (simplifiée) [17] selon le premier mode de vibration est déterminée par l'équation(V.1) :

$$\left. \begin{aligned}
 \phi_I(x) &= \sin \left[ \frac{\pi x_i}{2H} \right] & \text{si} & \quad H/D < 1.3 \\
 \phi_I(x) &= \sin \left[ \frac{x_i}{H} \right] & \text{si} & \quad 1.3 < H/D < 3 \\
 \phi_I(x) &= 1 - \cos \left[ \frac{\pi x_i}{2H} \right] & \text{si} & \quad H/D > 3
 \end{aligned} \right\} \quad (V.1)$$

avec H : Hauteur totale de la structure

D : La dimension mesurée dans le sens perpendiculaire a l'action sismique.

X<sub>i</sub> : La hauteur de l'étage (i).

Le mode fondamental de vibration de chaque bâtiment est représenté suivant les deux directions (xx) et (yy) par la figure (V.4).

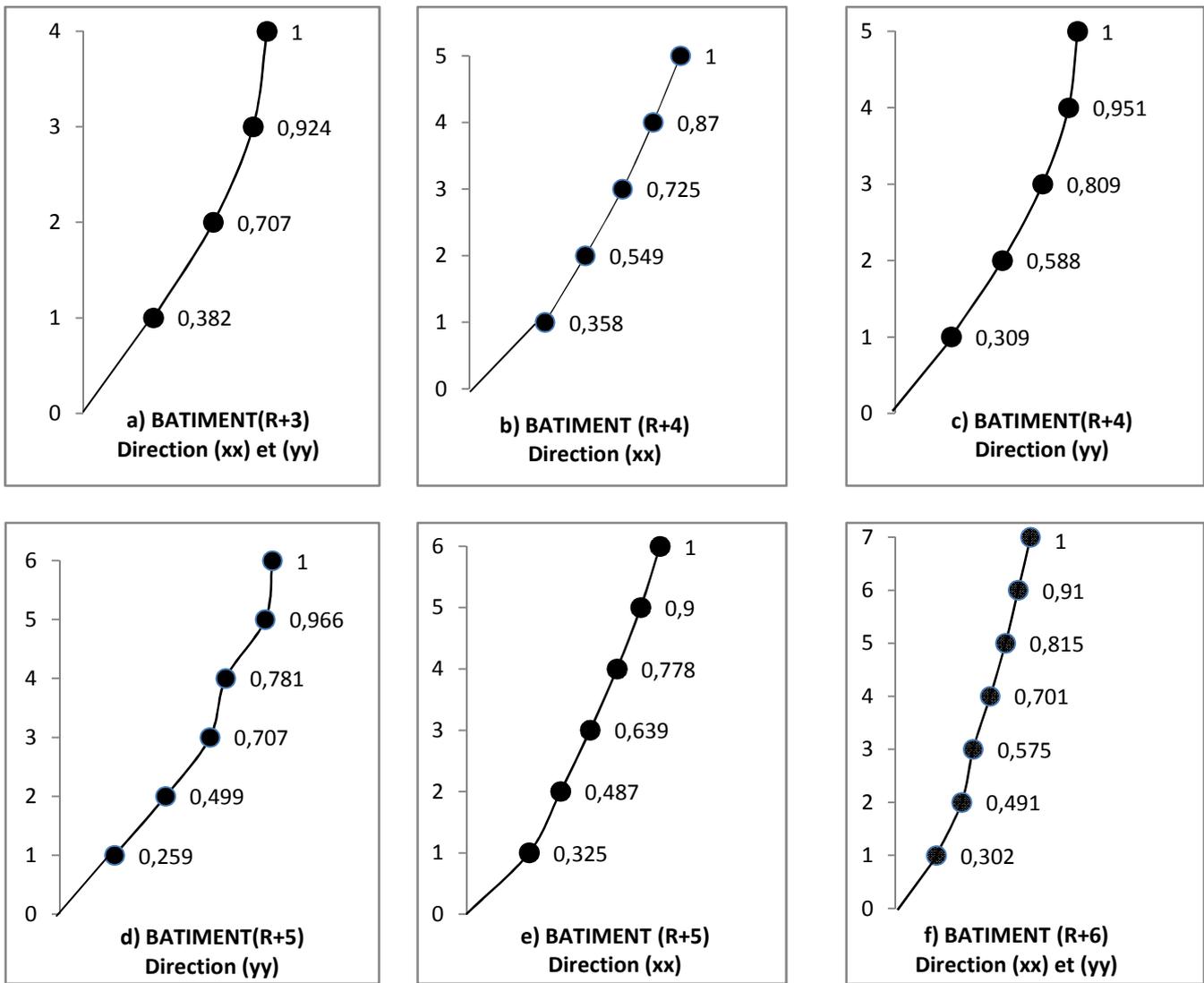


Figure V.4. La déformée selon le premier mode pour les différents bâtiments

### V.3.3. Calcul du facteur de participation modale et du coefficient de masse modale selon les deux directions

Le facteur de participation ( $P_{f1}$ ) et le coefficient de masse modale ( $\alpha_1$ ) du premier mode sont donnés par les formules [17] (V.2) et (V.3).

$$P_{f1x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i}{\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i^2} \tag{V.2}$$

$$\alpha_{1x} = \frac{(\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i)^2}{(\sum_{i=1}^{i=n} m_i)(\sum_{i=1}^{i=n} m_i \phi_i^2)} \tag{V.3}$$

Les valeurs des facteurs de participation modale ( $P_{fi}$ ) et les coefficients de masse modale ( $\alpha_i$ ) du premier mode pour chaque bâtiment, selon les deux directions (xx) et (yy), sont représentés sur le tableau (V.2)

Bâtiments	$P_{fi_x}$	$P_{fi_y}$	$\alpha_{1_x}$	$\alpha_{1_y}$
R+6	1.624	1.624	0.829	0.829
R+5	1.606	1.265	0.836	0.878
R+4	1.594	1.229	0.848	0.890
R+3	1.217	1.217	0.906	0.906

Tableau V.2. Facteurs de participation modale ( $P_{fi}$ ) et les coefficients de masse modale ( $\alpha_i$ )

#### V.4. Modélisation non linéaire des bâtiments

L'objectif de la modélisation des bâtiments est de déterminer leurs capacités à supporter des charges, pour ce faire nous utilisons le logiciel ETABS [27].

##### V.4.1. Ferrailage des bâtiments

Le ferrailage des structures est illustré dans le tableau (V.3) suivant :

Niveaux		1 <sup>er</sup>	2 <sup>eme</sup>	3 <sup>eme</sup>	4 <sup>eme</sup>	5 <sup>eme</sup>	6 <sup>eme</sup>	7 <sup>eme</sup>	
Bâtiment (R+3)	Poutres principales	2 x (3T14+2T14)							
	Poutres secondaires	2x3T14							
	poteaux	8T14		8T12					
Bâtiment (R+4)	Poutres principales	2 x (3T14+2T14)							
	Poutres secondaires	2x3T14							
	poteaux	8T14		8T12					
Bâtiment (R+5)	Poutres principales	2 x (3T14+2T14)							
	Poutres secondaires	2 x 3T14							
	poteaux	8T14		8T12					
Bâtiment (R+6)	Poutres principales	2 x (3T14+2T14)							
	Poutres secondaires	2x3T14							
	poteaux	8T14		8T12					

Tableau V.3. Tableau de ferrailage des éléments des bâtiments

##### V.4.2. Détermination des courbes de capacité

La modélisation des bâtiments avec ETABS nécessite de satisfaire les étapes suivantes :

*Etape 01* : Discrétisation et modélisation des bâtiments.

*Etape 02* : Chargement des bâtiments.

**Etape 03 :** Détermination de la longueur et le positionnement des rotules plastiques.

La longueur de la rotule plastique dans les poteaux ainsi que dans les poutres est donnée par la formule (V.4) [13] :

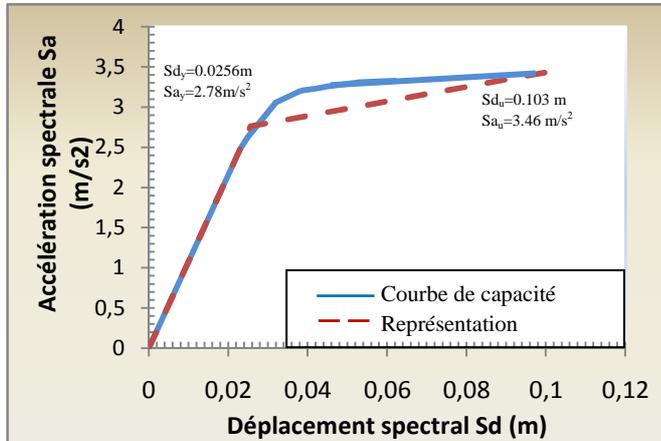
$$L_{pl} = a_{st} \cdot (0.08 \cdot L_v + 0.022 \cdot f_s \cdot d_{pl}) \text{ en [mm]} \quad (V.4)$$

avec :

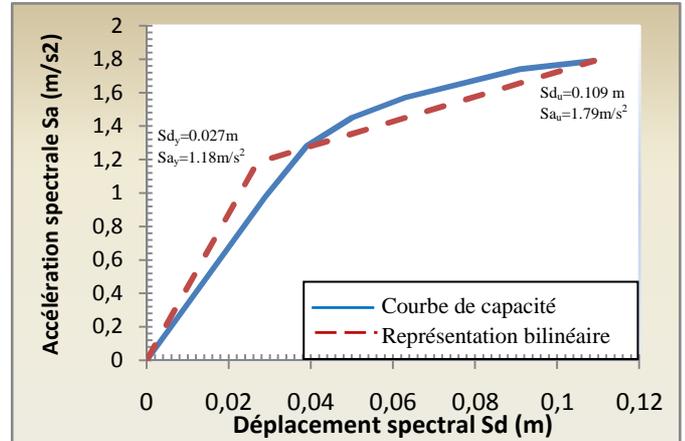
- $a_{st}$  coefficient de nuance d'acier.  $a_{st} = 0.8$  Pour les aciers d'armature avec  $(f_t/f_s < 1.15)$ , et  $a_{st} = 1.0$  Pour les aciers d'armature avec  $(f_t/f_s > 1.15)$
- $L_v$  portée de cisaillement (m/v) en [mm]
- $f_s$  limite d'écoulement de l'armature longitudinale, en [MPa]
- $f_t$  résistance à la traction de l'armature longitudinale, en [MPa]
- $d_{pl}$  diamètre de l'armature longitudinale, en [mm].

**V.4.3. Tracé des courbes de capacité et représentation bilinéaire des bâtiments en fonction des déplacements**

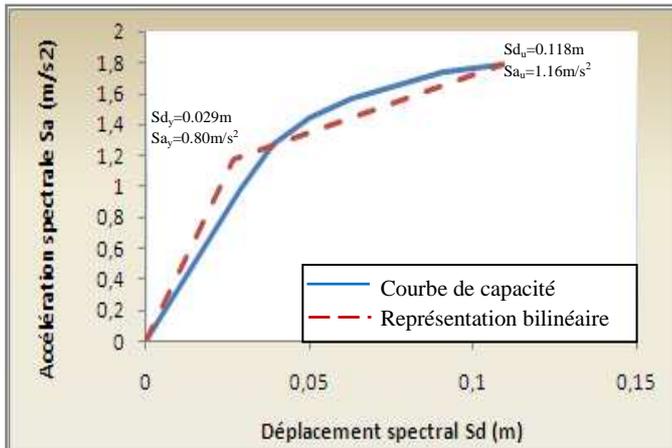
Les courbes de capacité et la représentation bilinéaire des bâtiments (R+6), (R+5), (R+4) et (R+3), selon les deux directions (x, x) et (y, y), sont données par les figures suivantes :



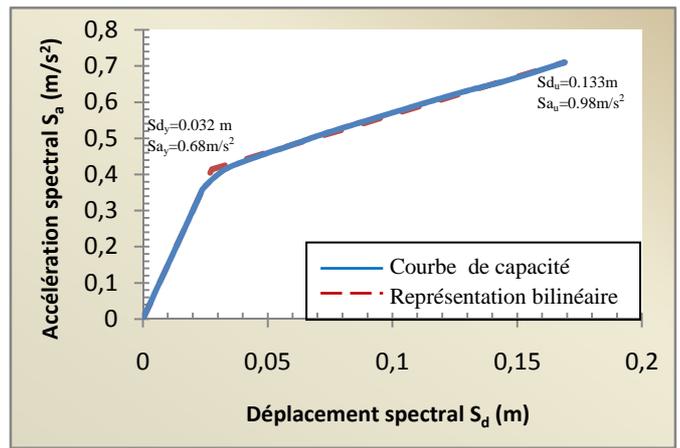
a) Bâtiments (R+3)



b) Bâtiments (R+4)



c) Bâtiments (R+5)



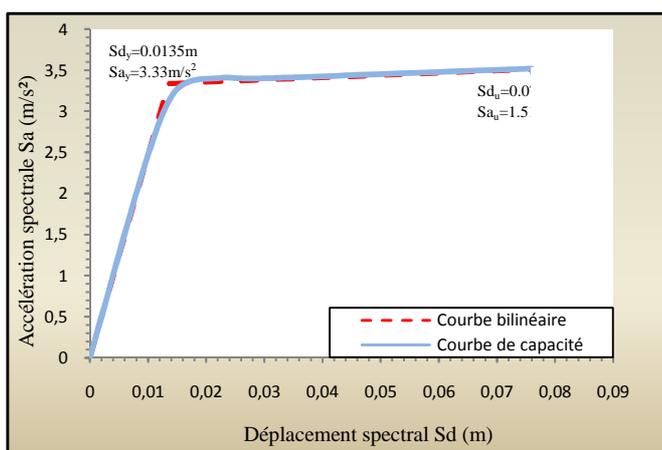
d) Bâtiments (R+6)

Figure V.5. Courbes de capacité et les représentations bilinéaires pour les différents bâtiments (Direction xx)

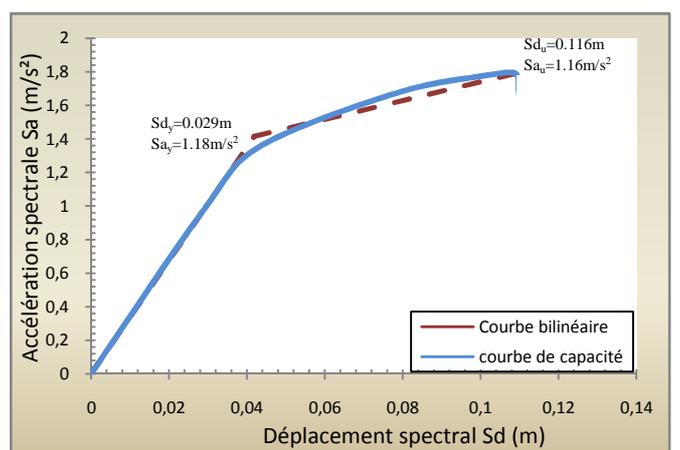
Les limites élastiques et ultimes de différents cas selon (xx) sont données par le tableau (V.3)

Bâtiments	Limites élastiques		Limites ultimes	
	$S_{dy}(m)$	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$
(R+3)	0.0256	2.78	0.103	3.46
(R+4)	0.027	1.18	0.109	1.79
(R+5)	0.029	0.80	0.118	1.16
(R+6)	0.032	0.68	0.133	0.98

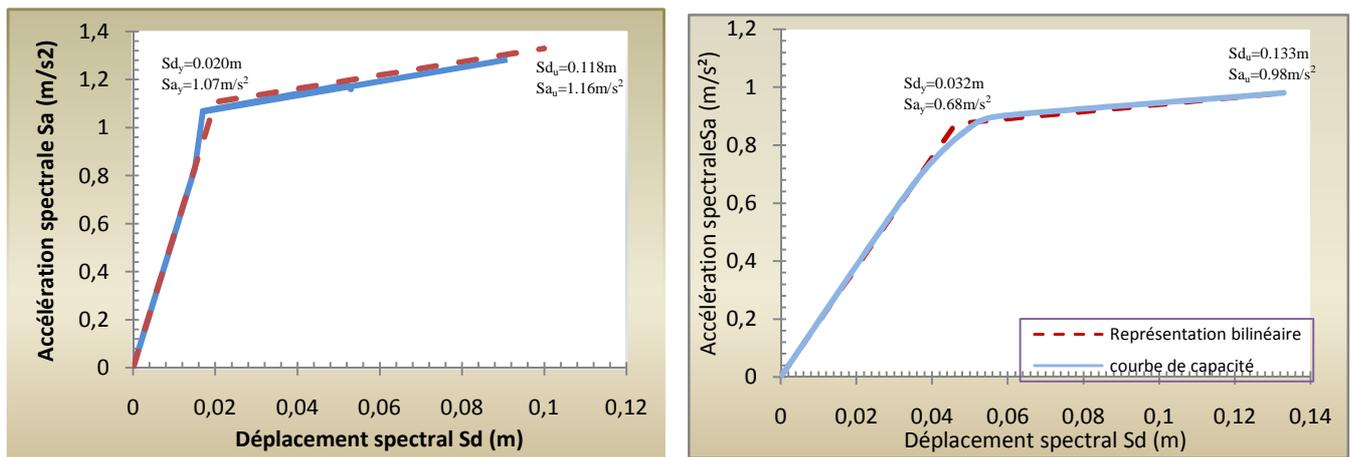
Tableau V.4. Les limites élastiques et ultimes du déplacement spectral et de l'accélération spectrale de différents bâtiments suivant (xx)



b) Bâtiments (R+3)



a) Bâtiments (R+4)



d) Bâtiments (R+5)

c) Bâtiments (R+6)

Figure V.6. Courbes de capacité et les représentations bilinéaires pour les différents bâtiments suivant la Direction yy

Les limites élastiques et ultimes de différents cas étudiés, selon (yy), sont données par le tableau (V.4)

Bâtiments	Limites élastiques		Limites ultimes	
	$S_{dy}(m)$	$S_{ay} (m/s^2)$	$S_{au} (m/s^2)$	$S_{du}(m)$
(R+3)	0.0135	3.33	0.076	3.51
(R+4)	0.029	1.18	0.116	1.66
(R+5)	0.020	1.07	0.118	1.16
(R+6)	0.032	0.68	0.133	0.98

Tableau V.5. Les limites élastiques et ultimes du déplacement spectral et de l'accélération spectrale de différents bâtiments suivant (yy)

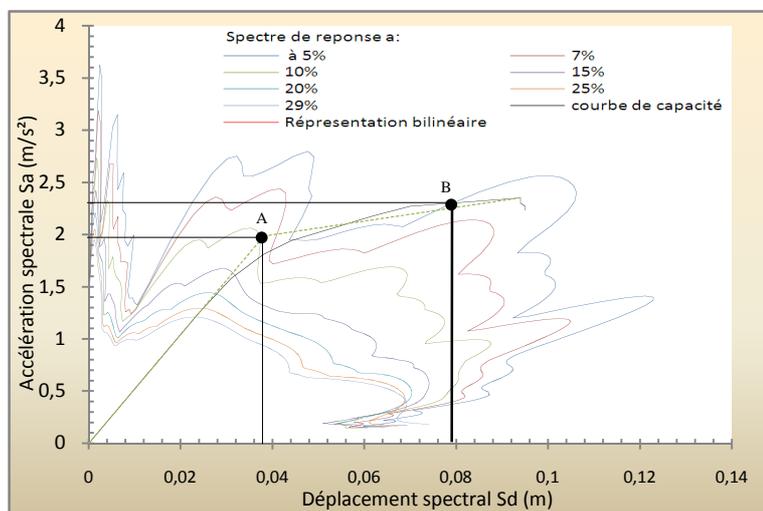
### V.5. Evaluation des points de performance des bâtiments

Dans ce paragraphe, nous évaluons les points de performance des bâtiments pour chaque séisme, (proche et lointain) suivant les deux directions (Est – Ouest) et (Nord – Sud). Pour cela, nous appliquons dans le détail la procédure C de l’ATC40. Pour une question de volume du manuscrit, nous présentons dans le détail l’étude du premier bâtiment étudié (R+3), par la suite nous nous présentons uniquement les résultats obtenus pour le (R+4), (R+5) et le (R+4).

#### V.5.1. Etudes des bâtiments sous l’enregistrement AZAZGA (Est-Ouest)

##### V.5.1.1. Cas du bâtiment(R +3)

Nous représentons dans la figure (V.7) la courbe de capacité spectrale du bâtiment (R+3) et les différents spectres de réponse (élastique et réduits), qui nous servirons par la suite dans l’évaluation du point de performance.



**Figure V.7. Représentation spectrale de la courbe de capacité du bâtiment (R+3) et les différents spectres de réponse.**

Dans la même figure, nous avons défini le point A de coordonnées ( $S_{dy}$ –  $S_{ay}$ ) caractérisant les limites élastiques, et un point (B) de coordonnées ( $S_{dpi}$ – $S_{api}$ ), qui est obtenu par l’intersection de la courbe représentant la demande à 5% d’amortissement et la courbe représentant la capacité. Les valeurs des points A et B sont données par le tableau (V.6).

Point A		Point B	
$S_{dy}$ (m)	$S_{ay}$ (m/s <sup>2</sup> )	$S_{dpi}$ (m)	$S_{api}$ (m/s <sup>2</sup> )
0.0375	1.96	0.078	2.30

**Tableau V.6. Les valeurs des points A et B**

**V.5.1.1.1. Calcul de l’amortissement effectif**

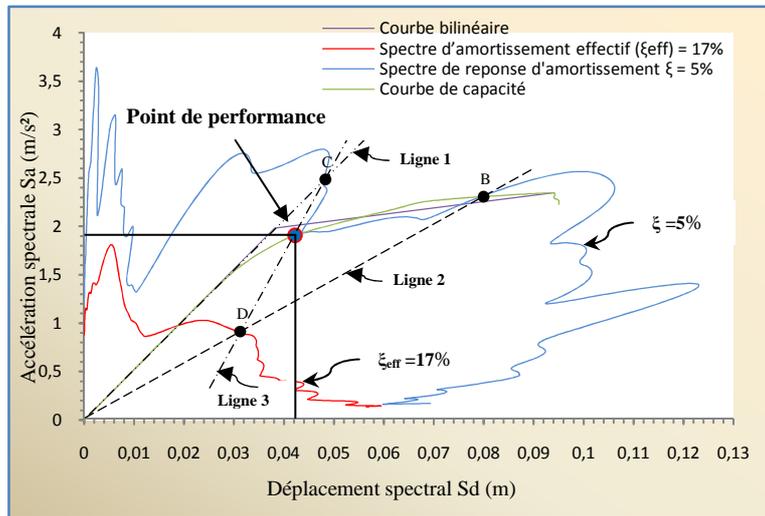
Pour le calcul de l’amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ), nous avons utilisé les rapports suivants :

$$\left[ \frac{Sd_{pi}}{Sd_y}, \frac{Sa_{pi}-1}{Sd_y} \right] = \left[ \frac{0.078}{0.0375}, \frac{\frac{2.30}{1.96}-1}{0.0375} \right] = \left[ 2.08; \frac{0.173}{1.08} \right] = [2.080; 0.160].$$

Comme la typologie des bâtiments est de type B, pour obtenir la valeur de l’amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) nous utilisons le tableau de l’annexe B (tableau 3). La Représentation de spectre de réponse correspondant à la valeur de l’amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) est donnée par la figure (V.8).

**V.5.1.1.2. Détermination du point de performance**

La superposition des deux courbes (capacité et demande) selon la procédure C de l’ATC 40 nous donne le point de performance (voir figure V.9).



**Figure V.8. Présentation de l’amortissement effectif  $\xi_{eff}$  et la détermination du point de performance selon le sens (xx)**

- Les coordonnées du point de performance selon le sens (xx) sont :  $Sd = 0.0422\text{ m}$   
 $Sa = 1.93\text{ m/s}^2$
- Les coordonnées du point de performance selon le sens (yy) sont :  $Sd = 0.01\text{ m}$   
 $Sa = 2.02\text{ m/s}^2$

Une fois le point de performance obtenu, la courbe de capacité de la structure est divisée en cinq (05) degrés de dommages selon l’échelle EMS98 (tableau V.7 et V.8), chaque degré est associé à un état d’endommagement bien précis.

Degré des dommages	Intervalles de déplacements spectraux associé à chaque domaine (m)
DG 1	[0-0.0152]
DG 2	[0.0152 - 0.0304]
DG 3	[0.0304 - 0.052]
DG4	[0.052 - 0.070]
DG 5	[0.070 - 0.094]

Tableau V.7. Evaluation de degré des dommages (sens xx)

Degré des dommages	Intervalles de déplacements spectraux associé à chaque domaine (m)
DG 1	[0 - 0.006]
DG 2	[0.006 - 0.01]
DG 3	[0.011 - 0.029]
DG4	[0.029 - 0.057]
DG 5	[0.057 - 0.076]

Tableau V.8. Evaluation de degré des dommages (sens yy)

Les degrés des dommages et le point de performance du bâtiment (R+3) selon les deux directions sont définis en fonction des déplacements spectraux déjà calculés, figures(V.9) et (V.10):

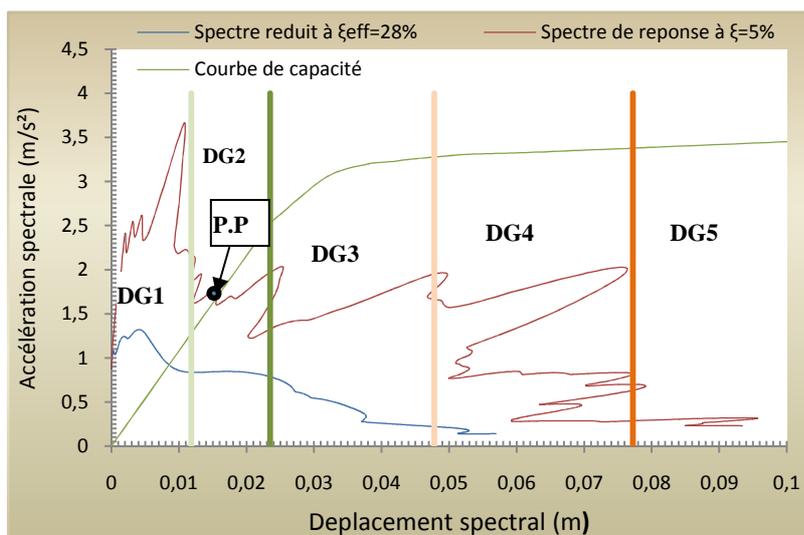


Figure V.9. Position du point de performance et évaluation des dommages selon le sens (xx)

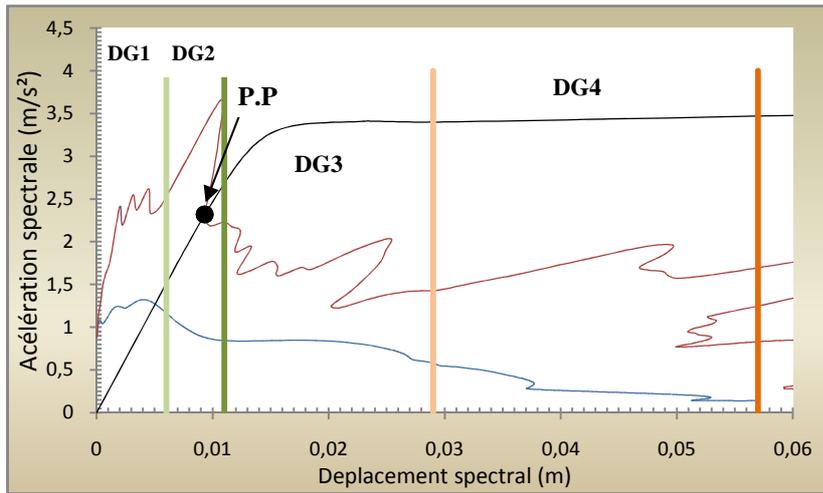


Figure V.10. Position du point de performance et évaluation des dommages selon le sens (yy)

**V.5.1.2. Etude de cas du Bâtiment(R+4), bâtiment(R+5), bâtiment(R+6)**

Nous rappelons que pour les autres bâtiments (R+4), (R+5) et (R+6), nous représentons uniquement les résultats essentiels obtenus.

**V.5.1.2.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance**

Pour les bâtiments (R+4), (R+5) et (R+6), nous présentons les valeurs des amortissements effectifs ainsi que les points de performance selon les deux directions xx et yy. Les résultats sont présentés dans les tableaux (V.9) et (V.10) suivants :

Bâtiment(R+4)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+5)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+6)		$\xi_{eff}$ (%)
Point de performance			Point de performance			Point de performance		
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	21	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	23	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	24
0.054	1.52		0.062	0.91		0.0745	1.08	

Tableau V.9. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)

Bâtiment(R+4)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+5)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+6)		$\xi_{eff}$ (%)
Point de performance			Point de performance			Point de performance		
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	21	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	23	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	24
0.051	1.46		0.098	1.33		0.067	0.91	

Tableau V.10. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)

**V.5.1.2.2. Degrés des dommages**

Le degré de dommages pour les bâtiments (R+4), (R+5) et (R+6), sont rapportés dans les tableaux (V.11) et (V.12) suivants :

Degré des dommages	Intervalles de déplacements spectraux associe à chaque domaine (m)		
	Bâtiment(R+4)	Bâtiment(R+5)	Bâtiment(R+6)
<b>DG 1</b>	[0-0.0172]	[0 - 0.016]	[0 - 0.0182]
<b>DG 2</b>	[0.017 - 0.0344]	[0.016 - 0.0312]	[0.0182 - 0.0364]
<b>DG 3</b>	[0.0344 - 0.06]	[0.0312 - 0.059]	[0.0364 - 0.067]
<b>DG4</b>	[0.06 - 0.082]	[0.059 - 0.089]	[0.067 - 0.01]
<b>DG 5</b>	[0.082 - 0.109]	[0.089 - 0.118]	[0.01 - 0.133]

Tableau V.11.Evaluation des degrés de dommages (sens xx)

Degré des dommages	Intervalles de déplacements spectraux associe à chaque domaine (m)		
	Bâtiment(R+4)	Bâtiment(R+5)	Bâtiment(R+6)
<b>DG 1</b>	[0 - 0.017]	[0 - 0.01]	[0 - 0.0185]
<b>DG 2</b>	[0.017 - 0.034]	[0.01 - 0.016]	[0.0185 - 0.037]
<b>DG 3</b>	[0.034 - 0.059]	[0.06 - 0.029]	[0.037 - 0.068]
<b>DG4</b>	[0.059 - 0.082]	[0.029 - 0.04]	[0.068 - 0.1]
<b>DG 5</b>	[0.082 - 0.109]	[0.04 - 0.053]	[0.1 - 0.133]

Tableau V.12. Evaluation des degrés de dommages (sens yy)

Les degrés des dommages et les points de performance de bâtiments (R+4), (R+5) et (R+6), sont définis en fonction des déplacements spectraux calculés et sont résumées dans cette partie les figures (V.11), (V.12), (V.13), (V.14), (V.15) et (V.16) suivantes :

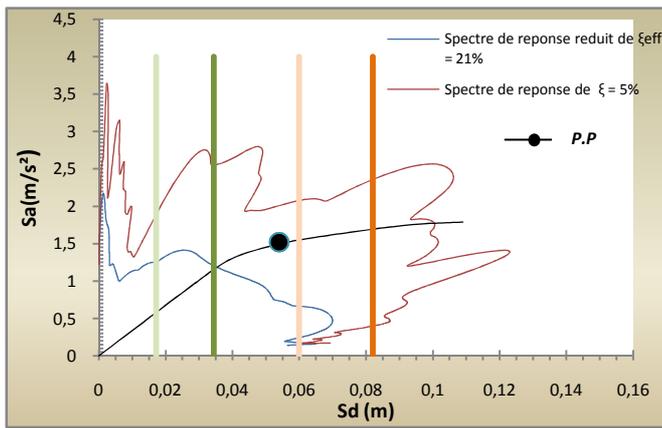


Figure V.11. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)

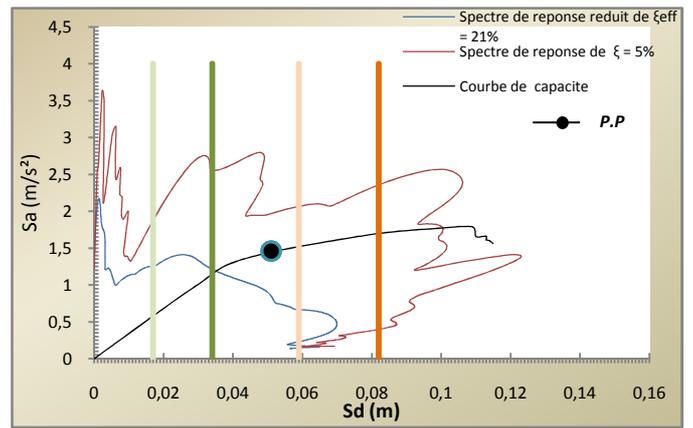


Figure V.12. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)

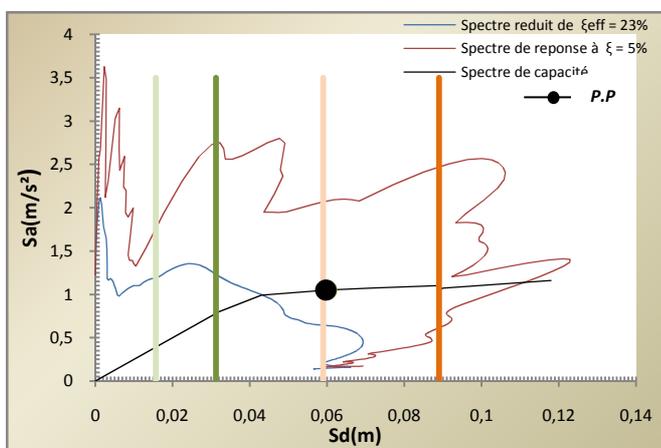


Figure V.13. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)

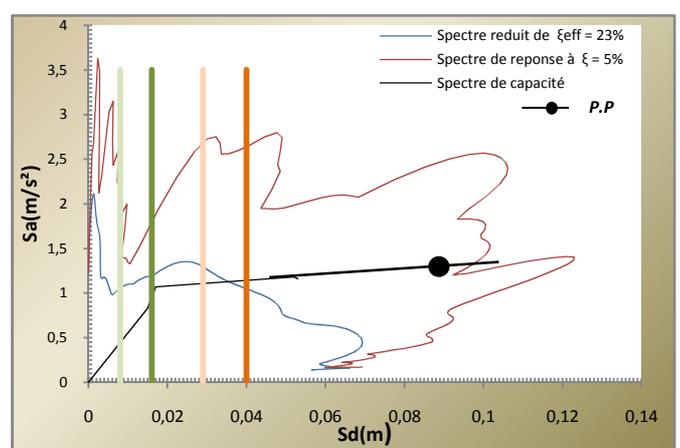


Figure V.14. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)

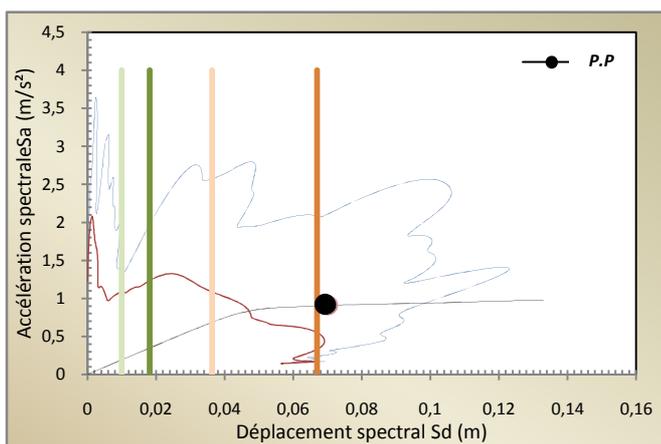


Figure V.15. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)

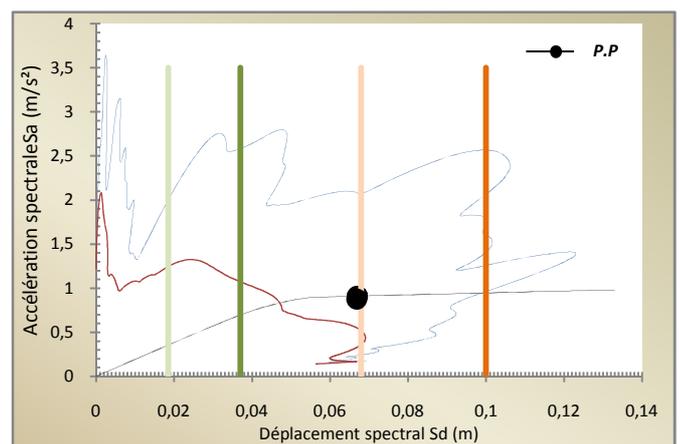


Figure V.16. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)

### V.5.2. Etudes des bâtiments sous l'enregistrement d'AZAZGA (Nord - Sud)

#### V.5.2.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance

Nous représentons dans ce sous chapitres les valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments selon les deux directions (xx)-(yy) et ces valeurs sont résumés dans les tableaux (V.13) et (V.14) suivants :

Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	28	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	21	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	18	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	17
0.016	1.70		0.041	1.33		0.052	1.03		0.053	0.85	

Tableau V.13. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)

Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	28	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	21	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	18	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	17
0.01	2.32		0.036	1.35		0.043	1.14		0.053	0.89	

Tableau V.14. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)

#### V.5.2.2. Degrés des dommages

Les degrés des dommages et les points de performance de bâtiments étudiés sont représentés dans les figures suivantes :

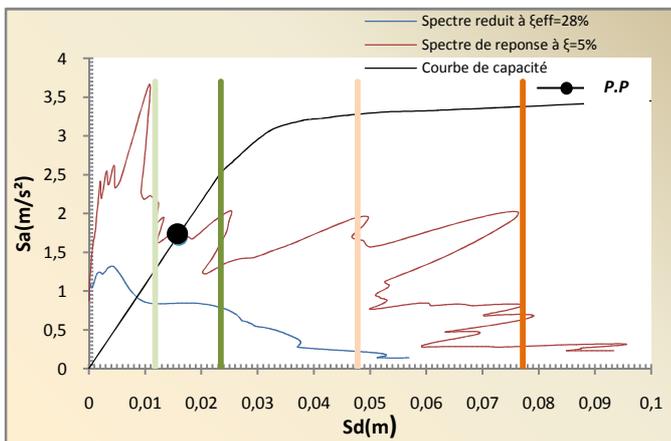


Figure V.17. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)

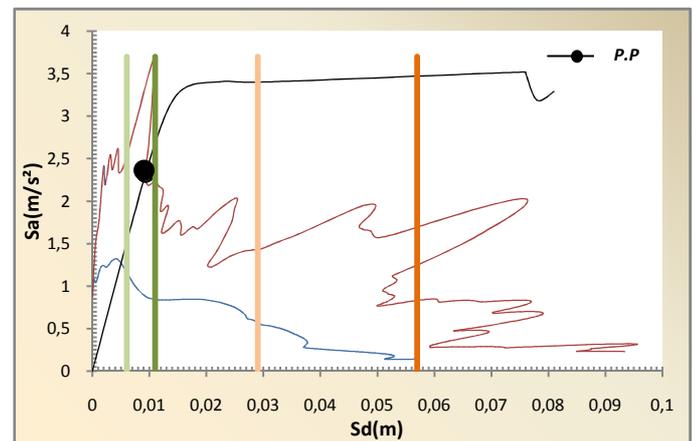


Figure V.18. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)

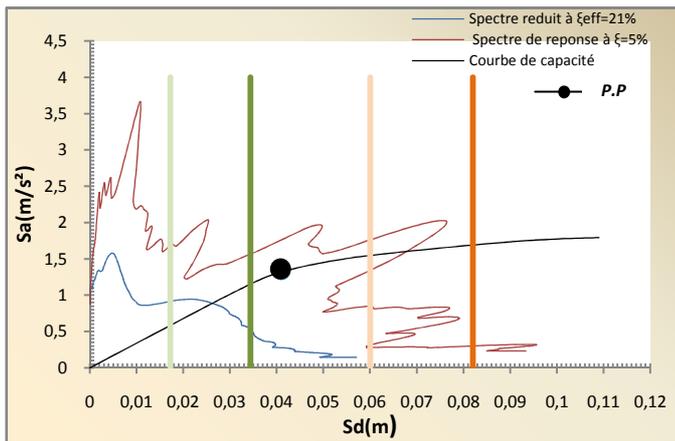


Figure V.19. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)

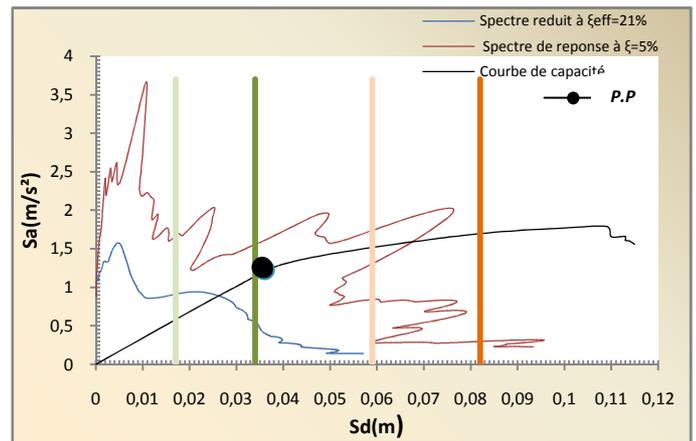


Figure V.20. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)

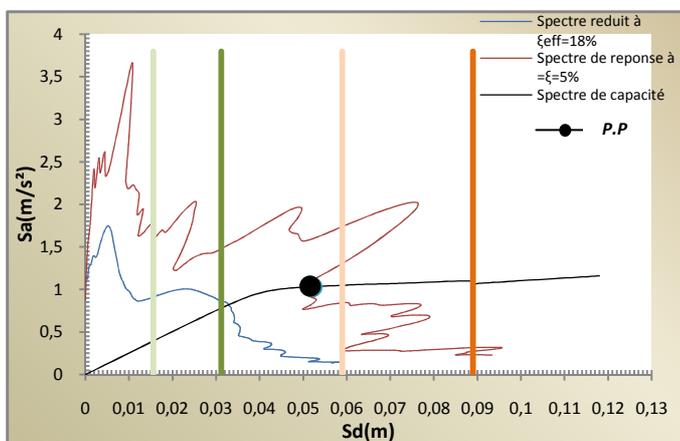


Figure V.21. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)

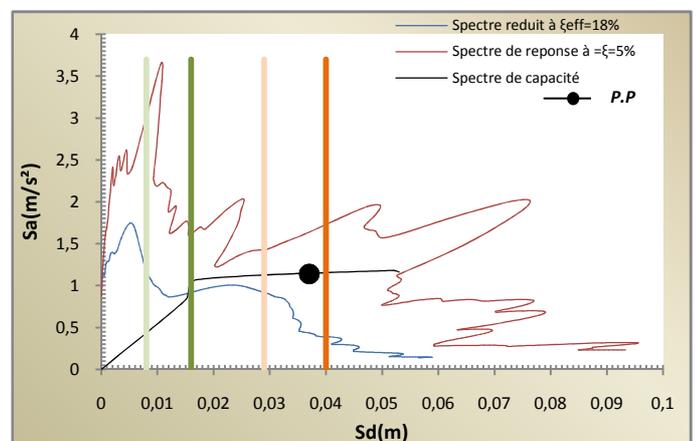


Figure V.22. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)

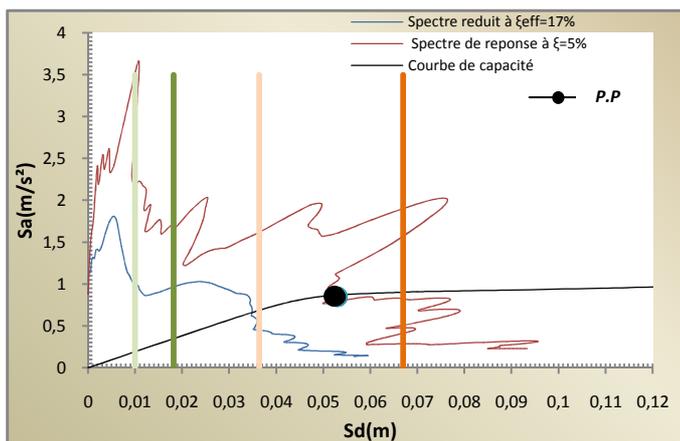


Figure V.23. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)

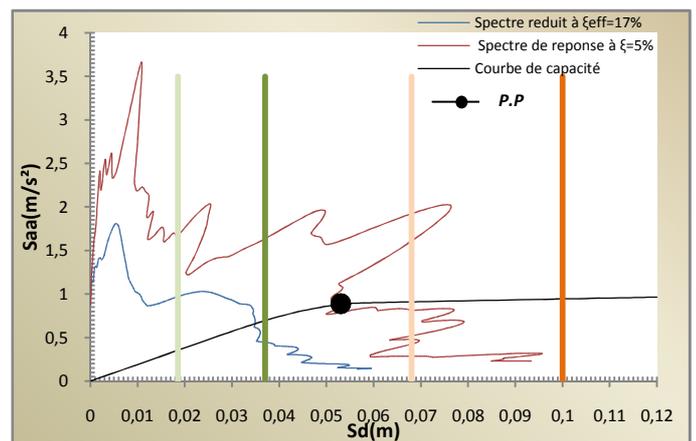


Figure V.24. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)

### V.5.2.3. Commentaires et conclusions

Après étude des quatre bâtiments sous le séisme d’Azzazga suivant les directions (Est – Ouest) et (Nord– Sud) (séisme considéré comme lointain), nous avons constaté et analysé les paramètres suivants :

- L’accélération sismique qui était dans un premier temps entre (0,85 et 2,32m/s<sup>2</sup>) diminue chaque fois qu’on augmente la hauteur de bâtiment. De plus cette accélération est plus importante suivant l’enregistrement (Est- Ouest) et dans le sens (y- y) du bâtiment
- Plus la hauteur de bâtiment est importante plus les déplacements spectraux sont considérables suivant l’enregistrement (Est- Ouest) et dans le sens (x- x) du bâtiment.

En conclusion, nous pouvons dire que le séisme à un effet marquant sur le comportement des bâtiments quel que soit la distance épacentrale, la direction du séisme et la hauteur du bâtiment. Néanmoins les accélérations sont plus importantes dans la direction (Est-Ouest) du séisme et suivant la direction Y-Y du bâtiment, Par contre les déplacements spectraux sont plus considérables suivant la direction X-X du bâtiment.

- En ce qui concerne les points de performance sismique obtenus, ils ont des valeurs plus élevées suivant l’enregistrement (Est – Ouest). De plus, chaque fois que la hauteur de bâtiment est élevée, le degré des dommages augmente.

### V.5.3. Etude des bâtiments suivant l’enregistrement de BOUMERDES (Est - Ouest)

#### V.5.3.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance

Les valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des différents bâtiments selon les deux directions (xx)-(yy) sont présentés dans les tableaux (V.15) et (V.16) suivants :

Bâtiment(R+3)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+4)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+5)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+6)		$\xi_{eff}$ (%)
Point de performance											
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	19	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	16	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	14	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	11
0.021	2.20			0.022		0.81			0.022	0.64	

Tableau V.15. Valeurs des amortissements effectifs et des points de performance des bâtiments (sens xx)

Bâtiment(R+3)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+4)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+5)		$\xi_{eff}$ (%)	Bâtiment(R+6)		$\xi_{eff}$ (%)
Point de performance											
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	19	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	16	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	14	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	11
0.0152	3.30			0.023		0.85			0.024	1.08	

Tableau V.16. Valeurs des amortissements effectifs et des points de performance des bâtiments (sens yy)

### V.5.3.2. Evaluation des degrés des dommages

Les degrés des dommages, sont présentés dans les tableaux (V.17) et (V.18) suivants :

Degré des dommages	Déplacement spectral calculé (m)			
	Bâtiment(R+3)	Bâtiment(R+4)	Bâtiment(R+5)	Bâtiment(R+6)
DG 1	0.0118	0.0172	0.016	0.0182
DG 2	0.0235	0.0344	0.0312	0.0364
DG 3	0.0478	0.06	0.059	0.067
DG4	0.0772	0.082	0.089	0.01
DG 5	0.103	0.109	0.118	0.133

Tableau V.17. Evaluation des degrés de dommages (sens xx)

Degré des dommages	Déplacement spectral calculé (m)			
	Bâtiment(R+3)	Bâtiment(R+4)	Bâtiment(R+5)	Bâtiment(R+6)
DG 1	0.006	0.017	0.01	0.0185
DG 2	0.011	0.034	0.016	0.037
DG 3	0.029	0.059	0.029	0.068
DG4	0.057	0.082	0.04	0.1
DG 5	0.076	0.109	0.053	0.133

Tableau V.18. Evaluation des degrés de dommages (sens yy)

Les degrés des dommages et les points de performance de différents bâtiments sont représentés dans les figures (V.25) à (V.32) suivantes :

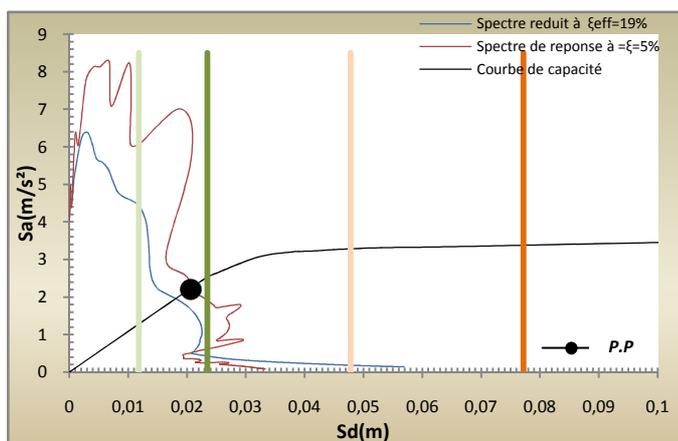


Figure V.25. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)

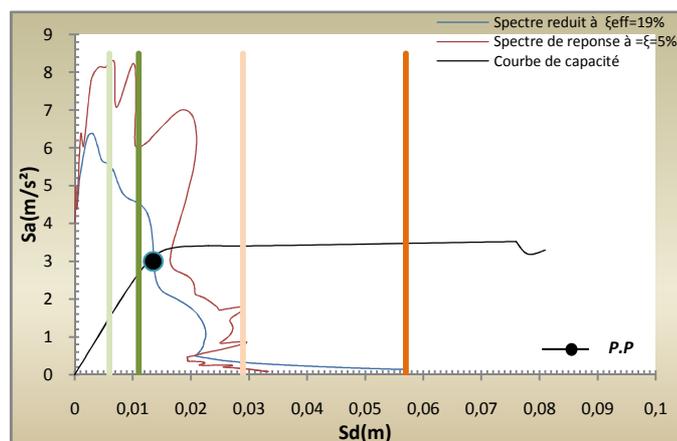


Figure V.26. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)

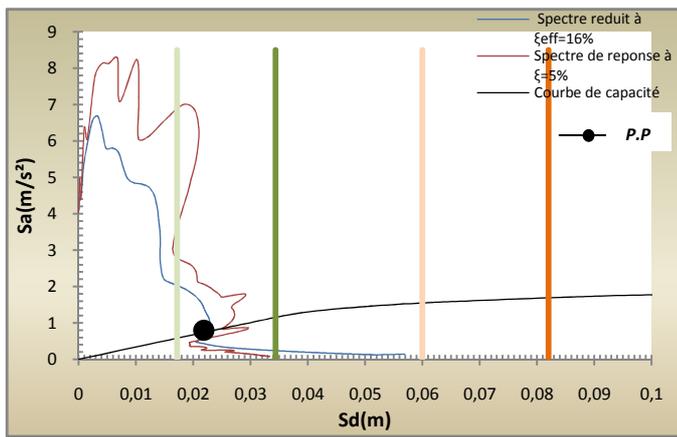


Figure V.27. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)

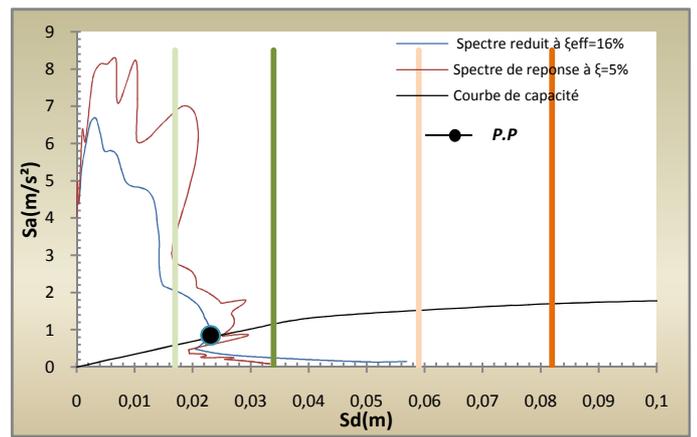


Figure V.28. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)

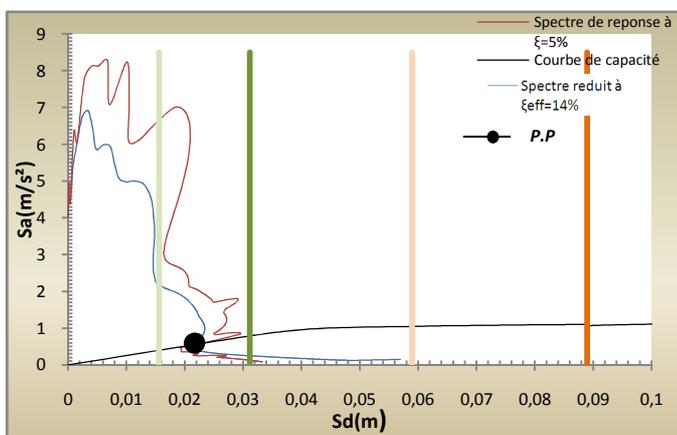


Figure V.29. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)

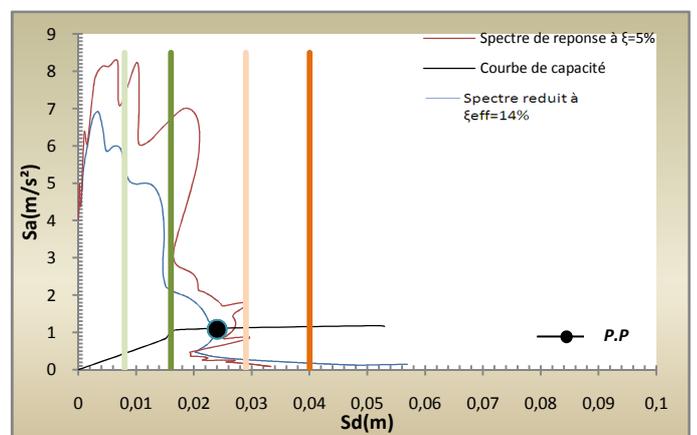


Figure V.30. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)

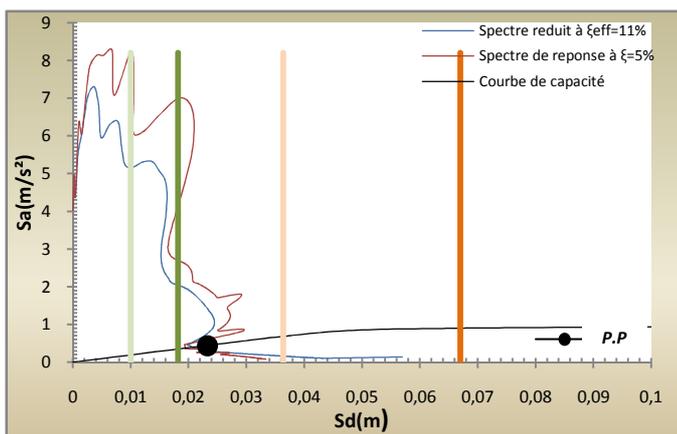


Figure V.31. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)

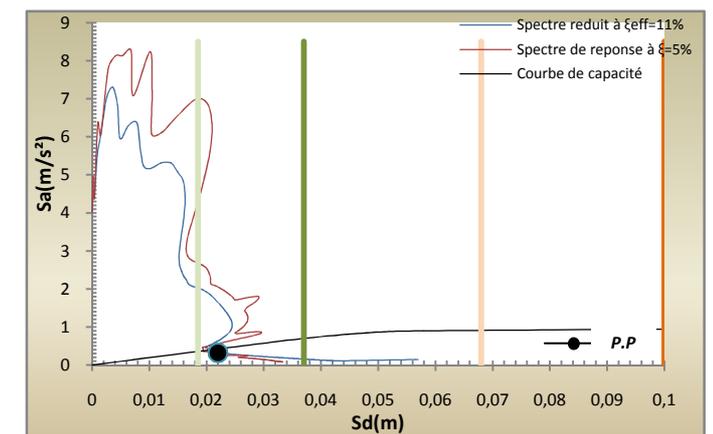


Figure V.32. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)

### V.5.4. Etude des bâtiments suivant l'enregistrement de BOUMERDES (Nord - Sud)

#### V.5.4.1. Détermination des amortissements effectifs et les points de performance

Nous calculons les valeurs des amortissements effectifs ainsi que les points de performance des bâtiments selon les deux directions (xx)-(yy). Ces résultats sont présentés dans les tableaux (V.19) et (V.20) suivants :

Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	23	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	14	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	12	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	11
0.025	2.5		0.048	1.35		0.05	1.02		0.052	0.91	

Tableau V.19. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)

Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	23	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	14	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	12	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	11
0.014	3.05		0.043	1.29		0.045	1.15		0.05	0.84	

Tableau V.20. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)

### V.5.4.2. Evaluation des points de performance et les degrés des dommages des bâtiments

Les points de performance ainsi que les degrés des dommages que subissent les bâtiments sont représentés sur les figures (V.33) à (V.40):

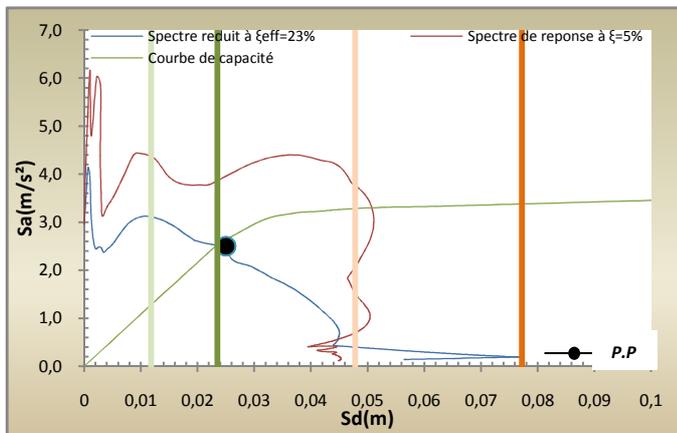


Figure V.33. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)

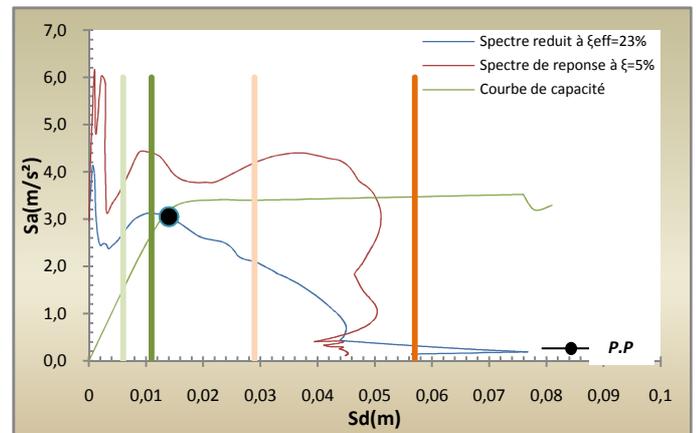


Figure V.34. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)

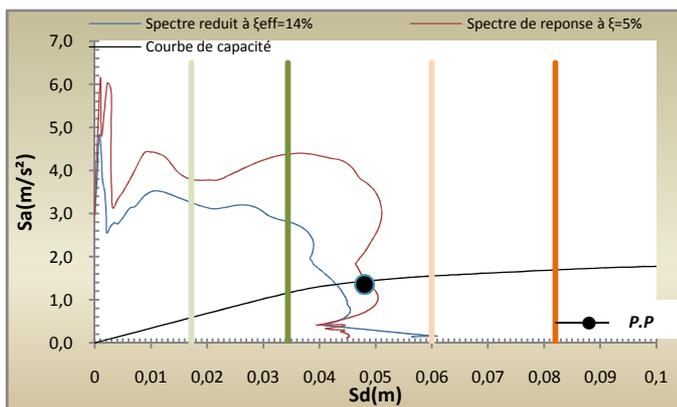


Figure V.35. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)

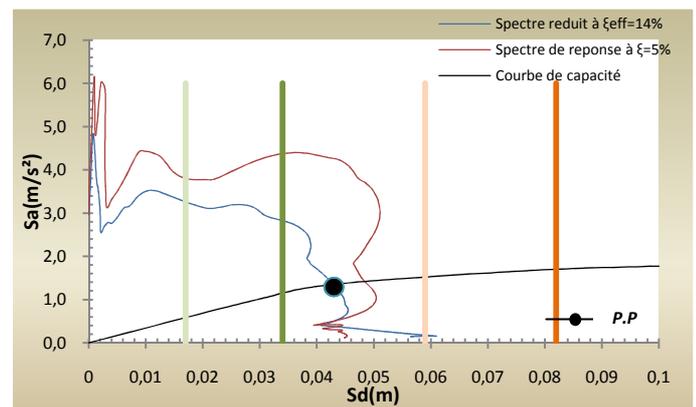


Figure V.36. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)

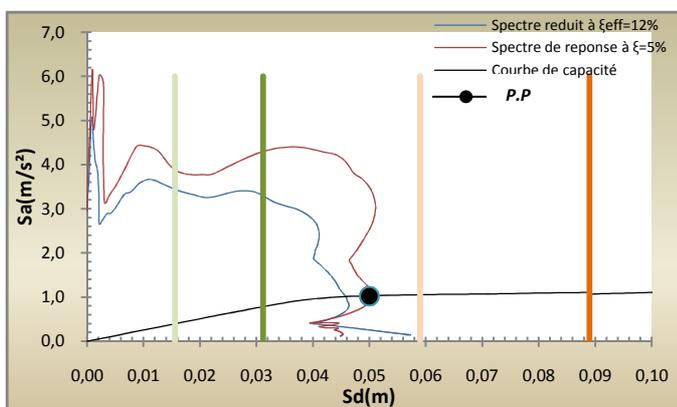


Figure V.37. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)

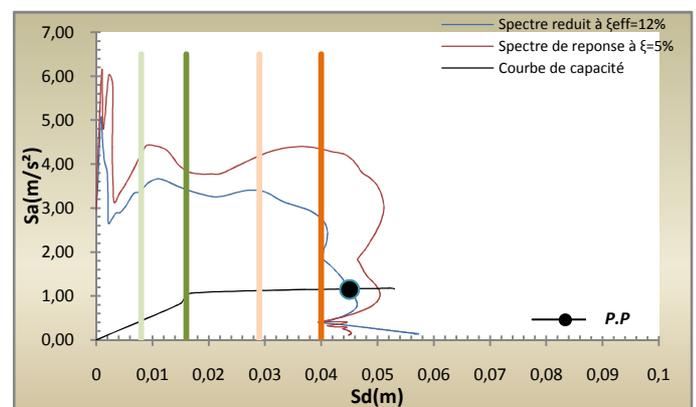


Figure V.38. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)

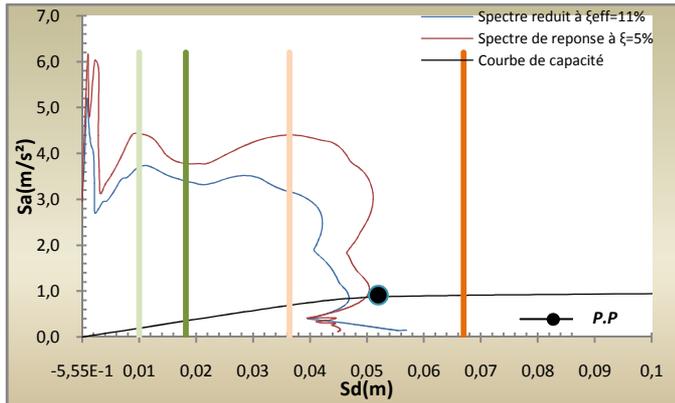


Figure V.39. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)

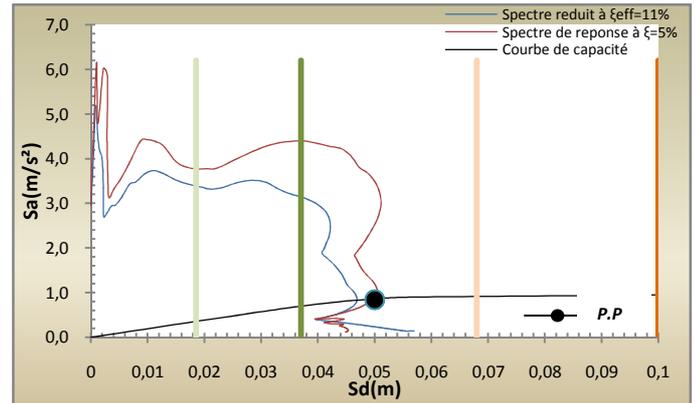


Figure V.40. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)

### V.5.4.3. Commentaires et conclusion

Nous constatons dans le cas de séisme proche pour les enregistrements (Est- Ouest) et (Nord- Sud) ce qui suit :

- L'accélération sismique qui a tendance à varier entre (0,32 et 3,30m/s<sup>2</sup>) dans un premier temps, diminue avec l'augmentation de la hauteur du bâtiment ; de plus elle est, généralement, plus importante suivant l'enregistrement (Nord- Sud) et dans le sens (x- x) du bâtiment.
- Les déplacements spectraux maximaux sont de valeurs supérieures, et ont tendance à augmenter avec l'élévation de bâtiment, et ce principalement dans l'enregistrement (Nord- Sud) et dans le sens(x- x) du bâtiment.

En conclusion, les bâtiments ont un comportement moins résistant vis à vis des actions sismiques considérées comme proches, les points de performances sismiques obtenus ont des valeurs considérables et les degrés des dommages sont de l'ordre supérieur par rapport aux actions sismiques considérées comme lointaines. De plus les dommages sont plus importants avec l'augmentation de la hauteur du bâtiment, notamment dans l'enregistrement (Nord- Sud).

### V.5.5. Evaluation des points de performance sismique en utilisant les spectres de réponse réglementaire (RPA)

Dans ce paragraphe nous nous intéressons à l'évaluation des points de performance de chaque bâtiment selon les deux séismes en appliquant les spectres de réponse réglementaires du RPA.

#### V.5.5.1. Représentation spectrale des séismes (lointain et proche)

La représentation des spectres de réponse réglementaires selon les deux séismes (lointain et proche) est représentée par les figures(V.43) et (V.44) :

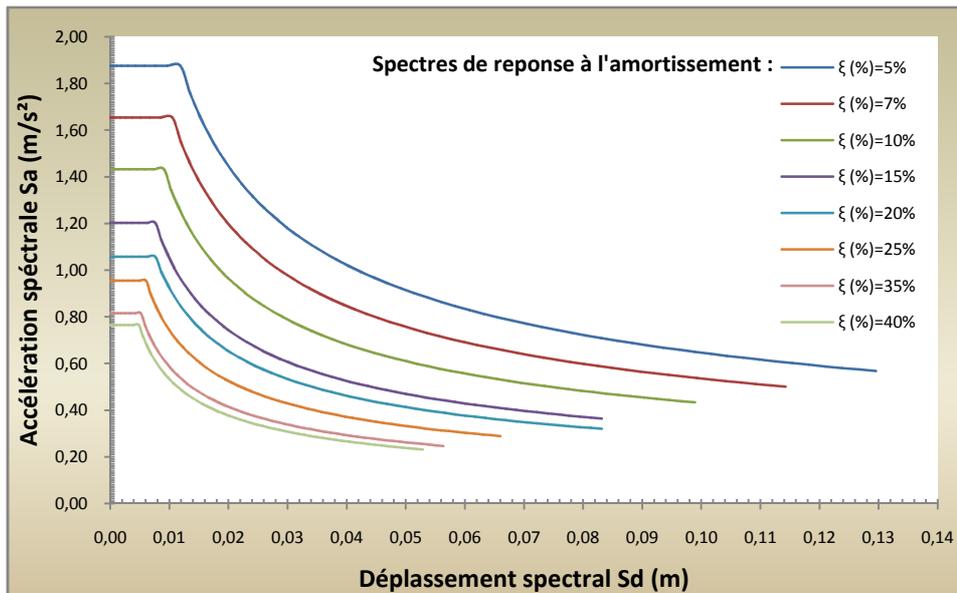


Figure V.41. Représentation des spectres de réponse du séisme lointain (AZAZGA)

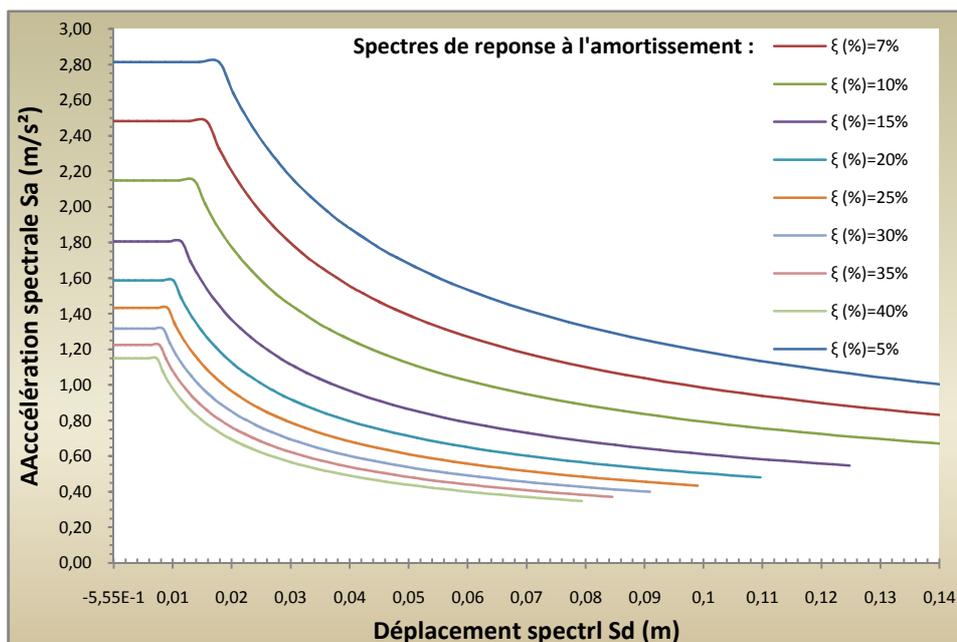


Figure V.42. Représentation des spectres de réponse du séisme proche (BOUMERDES)

**V.5.5.2. Détermination des amortissements effectifs  $\xi_{eff}$  et les points de point de performance**

**V.5.5.2.1.Cas du séisme lointain (AZAZGA)**

Nous allons, dans un premier temps, représenter dans les tableaux (V.21) et (V.22) les points de performances et l’amortissement effectif de chaque bâtiment selon les deux directions (xx) et (yy).

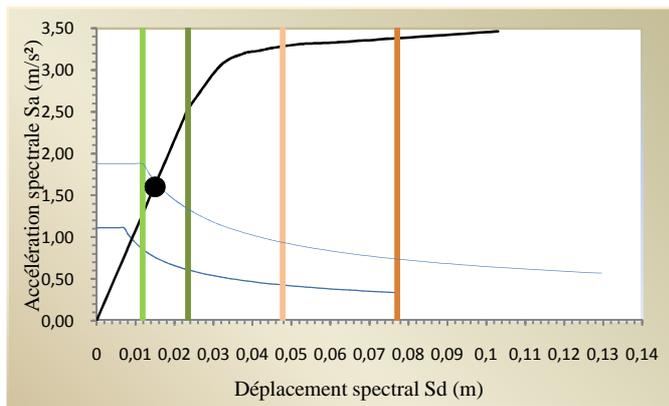
Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	18	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	17	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	20	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	24
0.015	1.60		0.032	1.07		0.041	0.98		0.071	0.90	

**Tableau V.21. Valeurs des amortissements effectifs et des points de performance des bâtiments (sens xx)**

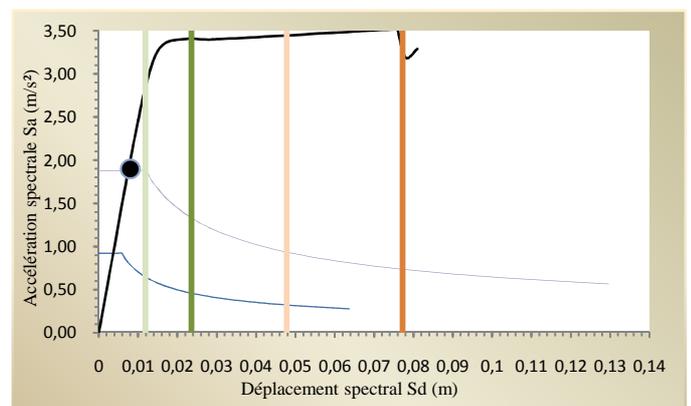
Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	27	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	17	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	22	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	21
0.008	1.90		0.039	1.31		0.042	1.15		0.060	0.91	

**Tableau V.22. Valeurs des amortissements effectifs et des points de performance des bâtiments (sens yy)**

Dans les figures suivantes (V.43) à (V.50) nous traçons clairement les points de performances et les domaines des dommages des bâtiments dans le cas du séisme lointain selon les deux directions (x.x) et (y.y) pour chaque bâtiment étudié:



**Figure V.43. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)**



**Figure V.44. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)**

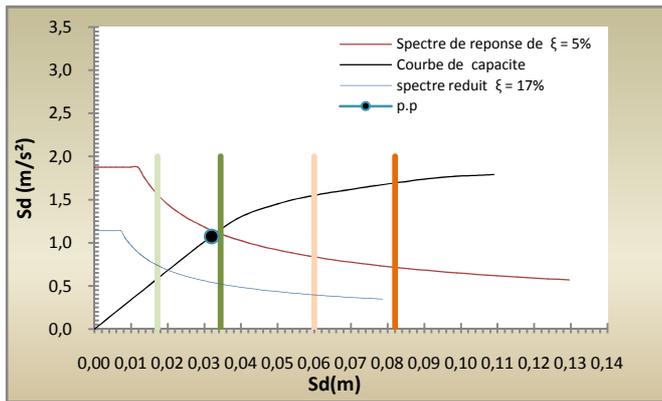


Figure V.45. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)

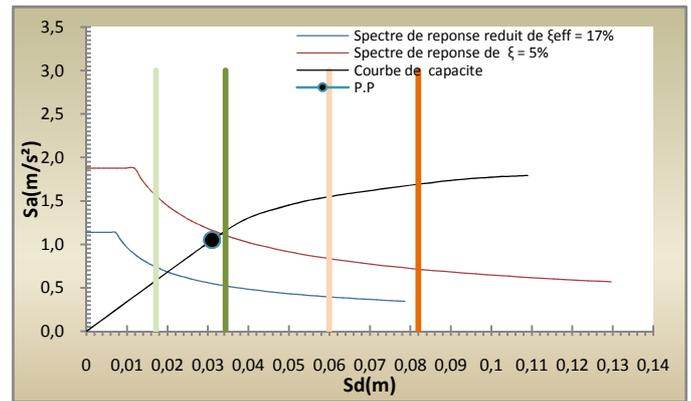


Figure V.46. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)

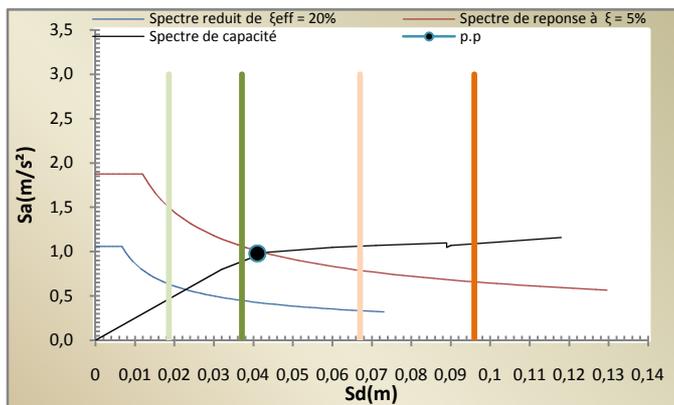


Figure V.47. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)

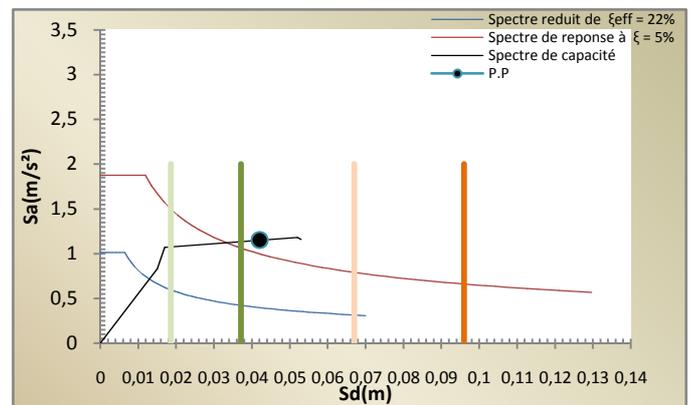


Figure V.48. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)

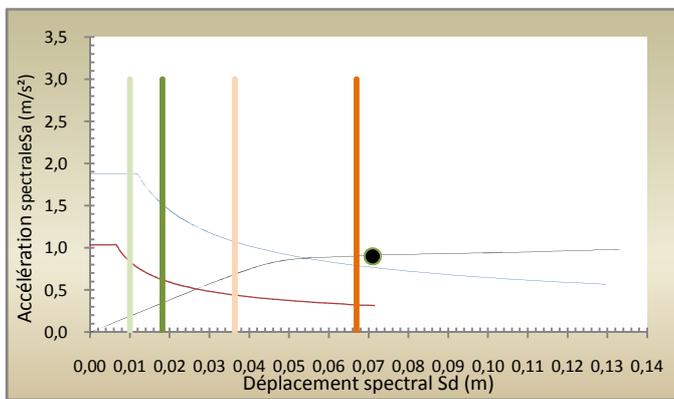


Figure V.49. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)

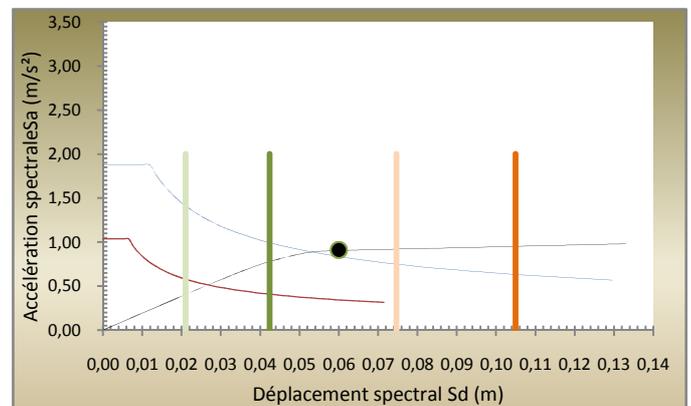


Figure V.50. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)

**V.5.5.2.2. Cas du séisme proche (BOUMERDES)**

Nous donnons dans les tableaux (V.23) et (V.24) les points de performances ainsi que l’amortissement effectif de chaque bâtiment étudié selon les deux directions (xx) et (yy).

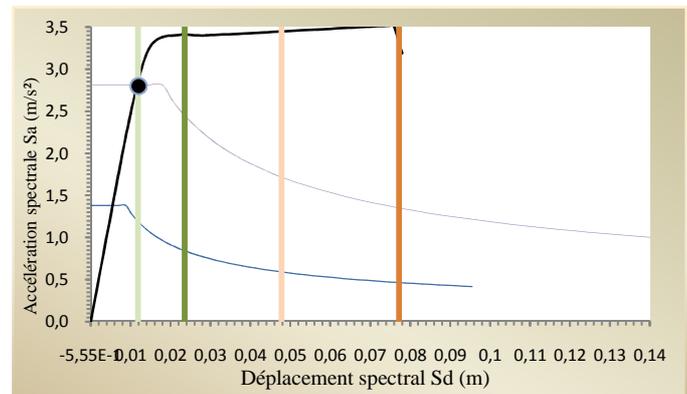
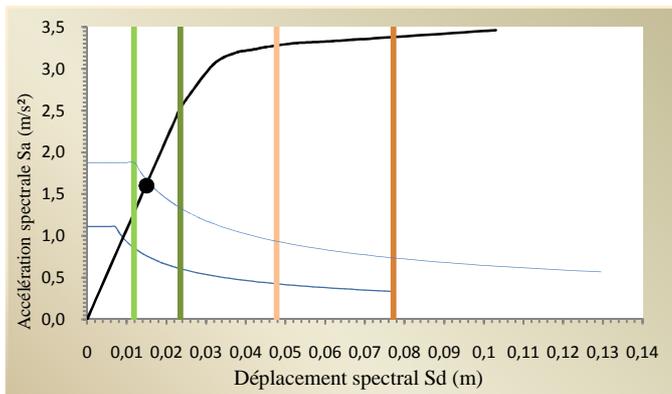
Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	18	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	17	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	20	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	24
0.022	2.4		0.052	1.45		0.065	1.08		0.078	0.91	

**Tableau V.23. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens xx)**

Bâtiment(R+3)			Bâtiment(R+4)			Bâtiment(R+5)			Bâtiment(R+6)		
Point de performance		$\xi_{eff}$ (%)									
Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	27	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	17	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	22	Sd (m)	Sa (m/s <sup>2</sup> )	21
0.012	2.8		0.045	1.38		0.051	1.18		0.072	0.91	

**Tableau V.24. Valeurs des amortissements effectifs et les points de performance des bâtiments (sens yy)**

Les points de performance et les degrés des dommages des bâtiments étudiés dans le cas du séisme proche sont donnés par les figures (V.51) à (V.58) et cela suivantes selon les deux directions (x-x) et (y-y).



**Figure V.51. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (xx)**

**Figure V.52. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+3) selon le sens (yy)**

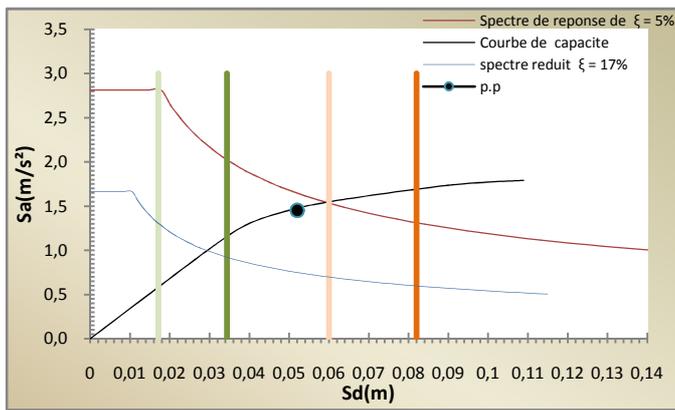


Figure V.53. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (xx)

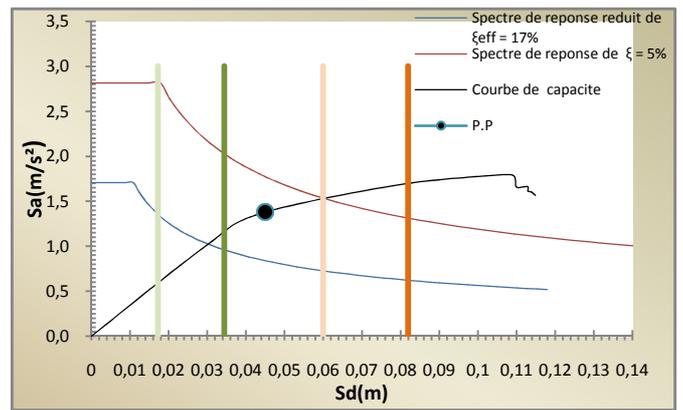


Figure V.54. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+4) selon le sens (yy)

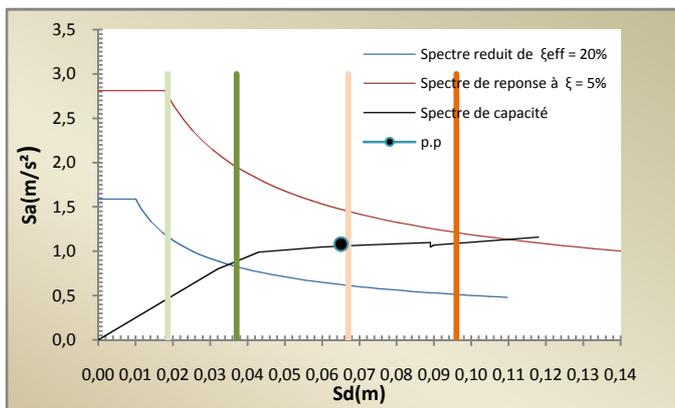


Figure V.55. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (xx)

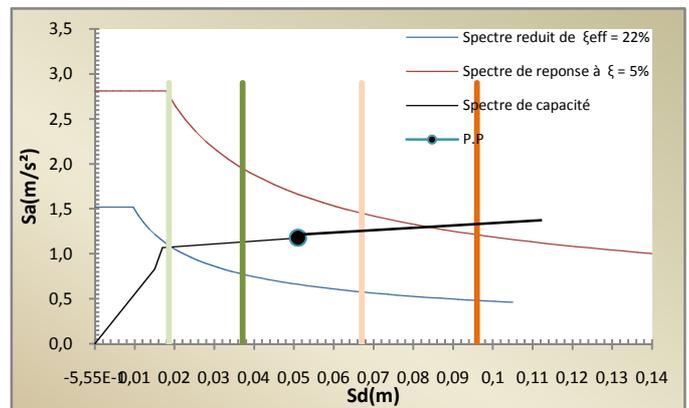


Figure V.56. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+5) selon le sens (yy)

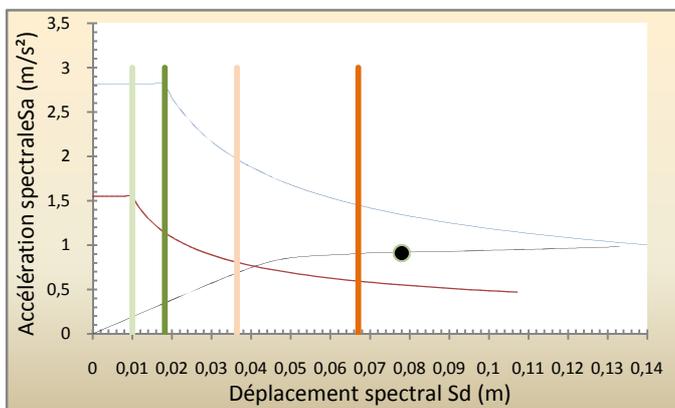


Figure V.57. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (xx)

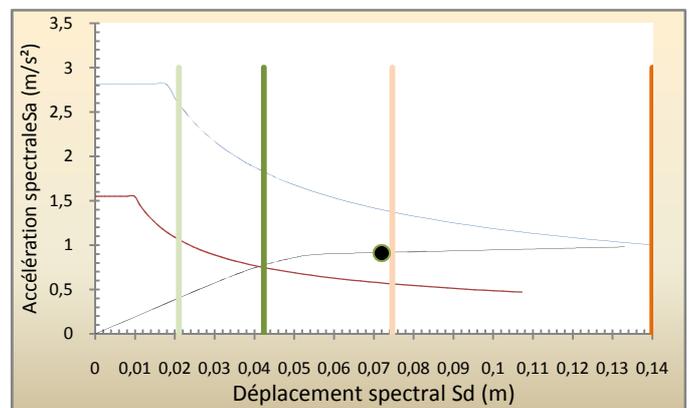


Figure V.58. Position du point de performance et évaluation des dommages (bâtiment R+6) selon le sens (yy)

### **V.5.5.3. Commentaires et conclusion**

Dans le cas d'introduction des spectres de réponse réglementaires au lieu des enregistrements sismiques pour l'étude de structure de bâtiment, l'analyse des différentes courbes obtenues montre que :

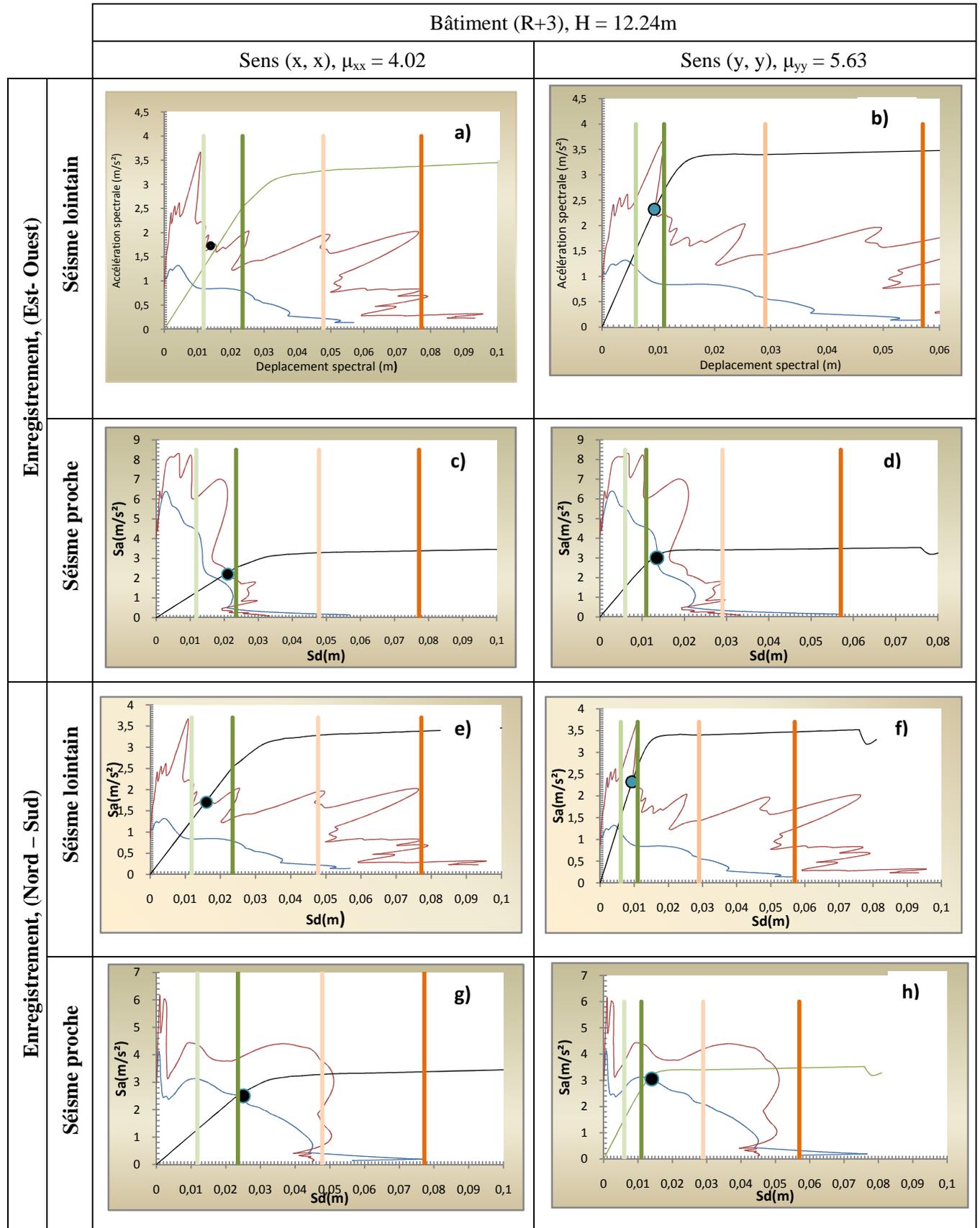
- Le point de performance sismique pour un même bâtiment est plus important dans la direction (x,x) quel que soit le séisme (proche ou lointain) et cela s'explique par le fait qu'il est plus résistant dans ce sens (section et armatures) ;
- L'accélération optimale varie entre (0,90 et 2,8m/s<sup>2</sup>),
- L'augmentation de la hauteur du bâtiment fait augmenter considérablement les déplacements spectraux lors du séisme proche notamment dans le sens (x,x).

En conclusion, le séisme proche affecte plus les structures de bâtiment lorsque le chargement est introduit sous forme de spectre de réponse ce qui donne des dommages d'ordre supérieur et ces dommages augmentent avec l'accroissement de la hauteur du bâtiment.

### **V.6. Présentation et interprétation des résultats**

Les points de performance sismique qui représentent le comportement des bâtiments dans les deux directions (x,x) et (y,y) vis-à-vis de chaque séisme seront présentés par des figures et des tableaux suivants. Dans ce chapitre, nous évaluons aussi la ductilité de chaque bâtiment dans chaque direction du séisme.

V.6.1. Bâtiment (R+3)



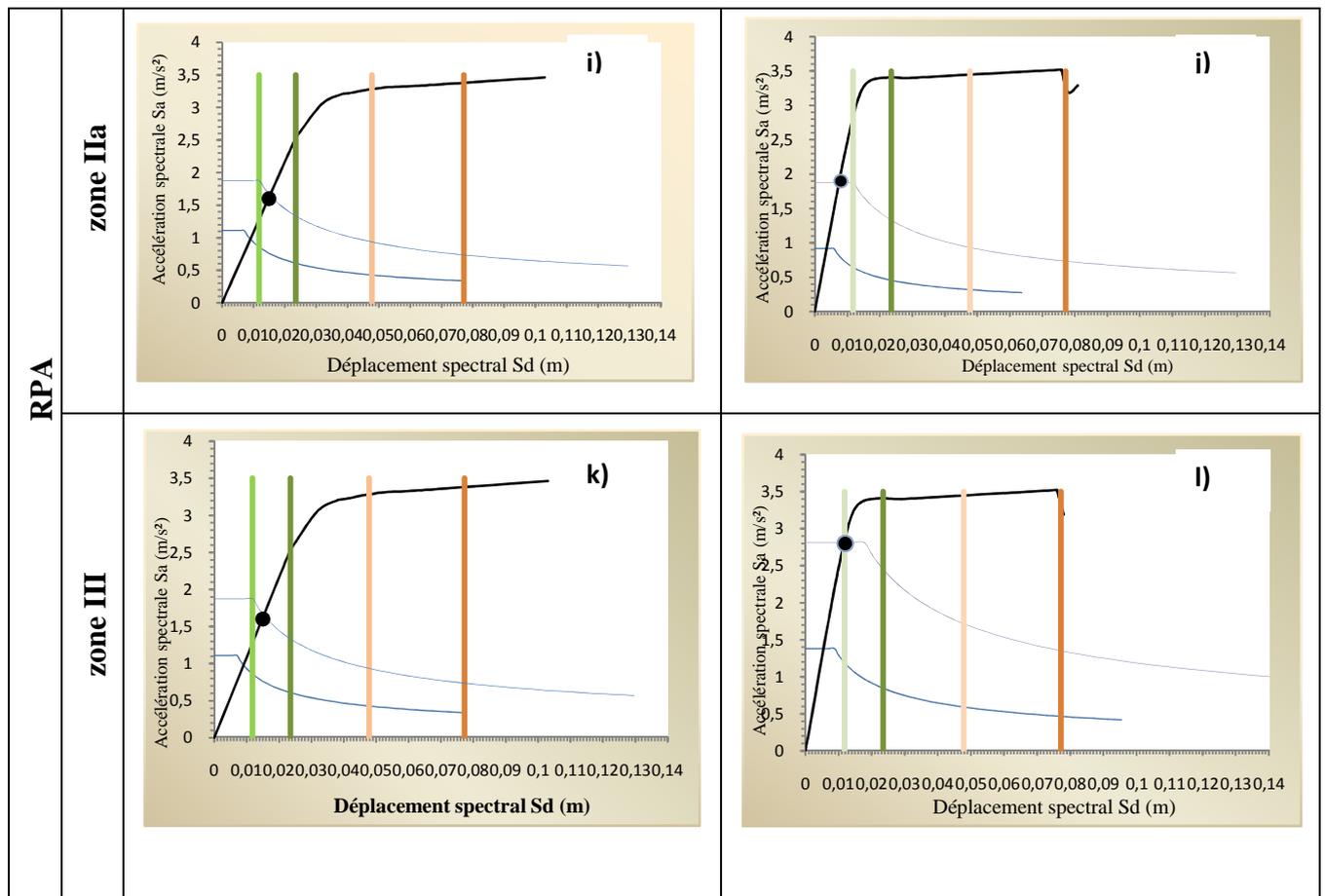


Figure V.59. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+3)

V.6.2. Analyse et commentaire

A titre illustratif, le tableau (V.25) nous donne les points de performance sismique qui représentent le comportement du bâtiment (R+3) d'une hauteur H = 12.24m :

		Enregistrements accélérométriques								RPA			
		Séisme lointain				Seime proche				Zone (IIa)		Zone(III)	
		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)		Séisme lointain		Séisme proche	
Bâtiment (R+3)	P.P	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)
	S <sub>d</sub> (m)	0.0422	0.01	0.016	0.01	0.021	0.0152	0.025	0.014	0.015	0.008	0.022	0.012
	S <sub>a</sub> (m/s <sup>2</sup> )	1.93	2.02	1.70	2.32	2.20	3.30	2.50	3.05	1.60	1.90	2.40	2.80

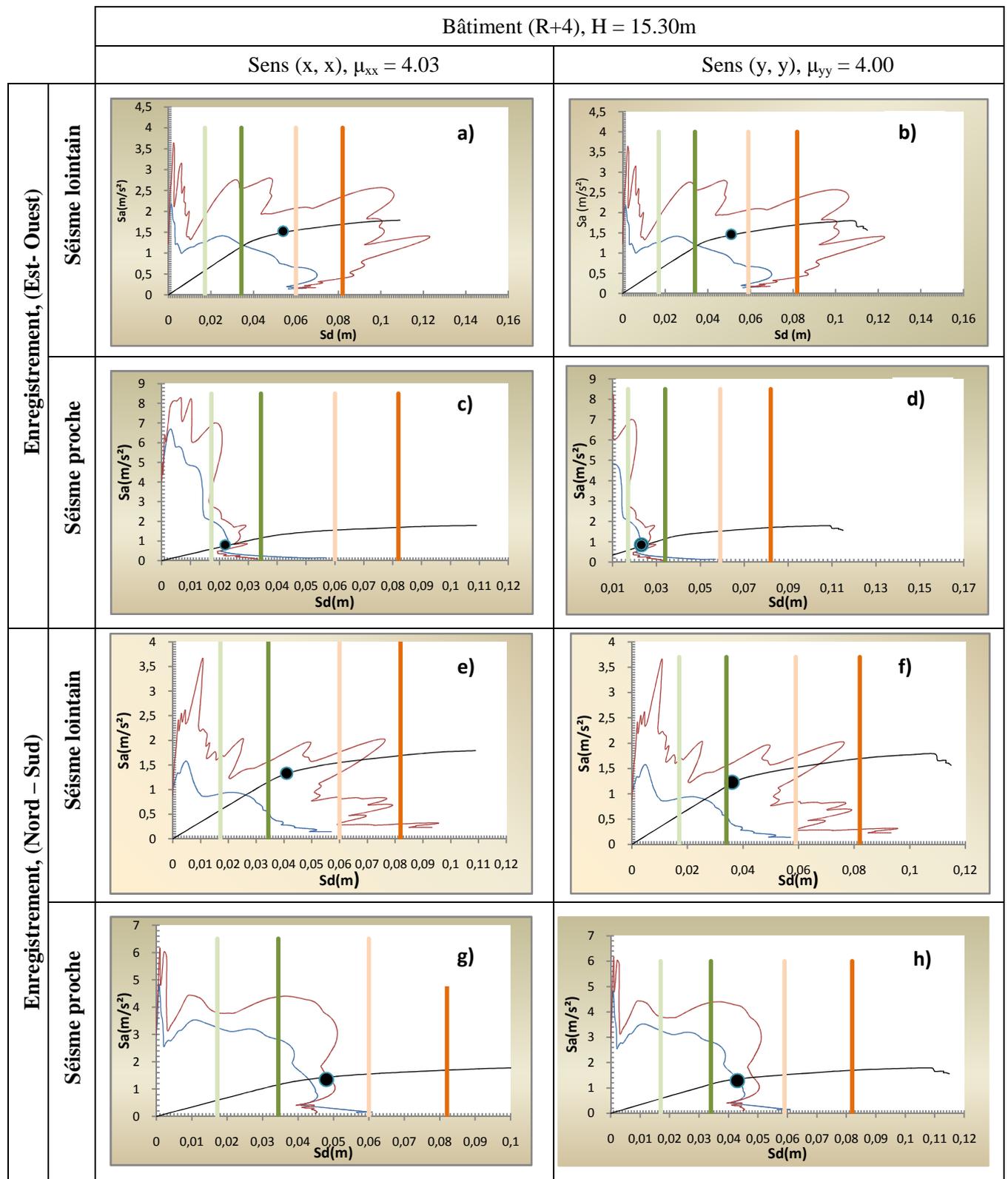
Tableau V.25. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+3)

La lecture des figures (V.59.a-1) nous fait observer les remarques suivantes :

- Dans le cas de l'enregistrement sismique sous forme d'accélérogramme, le point de performance se situe dans le domaine élastique avec un degré d'endommagement  $D_{II}$  (dégâts modérés) sous le séisme lointain. Par contre, ce degré d'endommagement est de l'ordre de  $D_{II}$  à  $D_{III}$  (dégâts sensibles et importants), dans le cas de séismes proche.
- Dans le cas de l'enregistrement sismique sous la forme de spectre de réponse du RPA, le point de performance se situe dans le domaine élastique de degré d'endommagement  $D_{II}$  (dégâts modérés) uniquement quelque soit le séisme.
- L'accélération sismique est élevée dans le cas du séisme proche, particulièrement dans le cas de l'enregistrement (Nord – Sud) et elle varie entre (1.6 et 3.30m/s<sup>2</sup>).
- Le déplacement maximal pour le bâtiment (R+3) est de valeur 0.0422m et il est donné par le séisme lointain d'enregistrement sismique de direction (Est-Ouest) suivant le sens (x,x) du bâtiment.

V.6.3. Bâtiment (R+4)

Les résultats de l'étude pour le bâtiment (R+4) sont résumés dans ce qui suit :



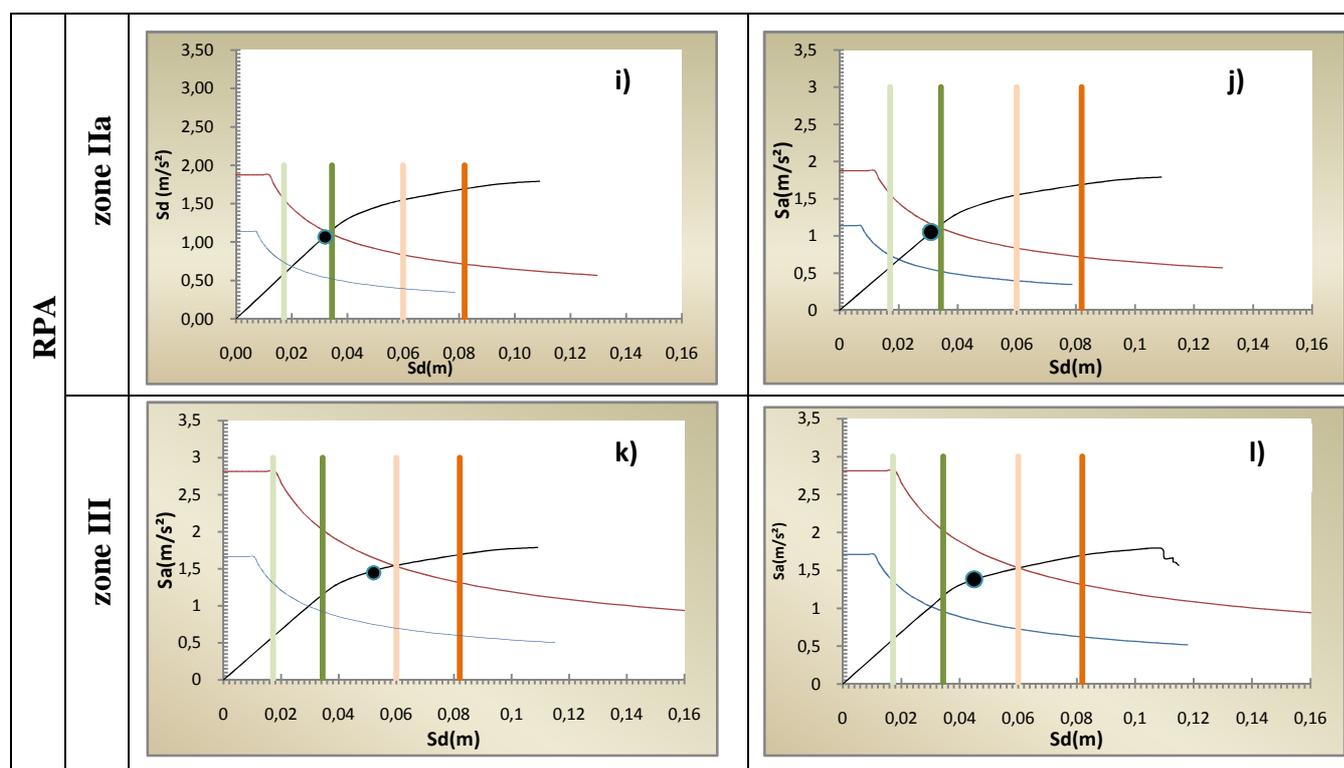


Figure V.60. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+4)

### V.6.4. Analyse et commentaire

Le tableau (V.26) nous donne les points de performance sismique qui représentent le comportement du bâtiment (R+4) d'une hauteur  $H = 15.30$ m:

		Enregistrements accélérométriques								RPA			
		Séisme lointain				Seime proche				Zone (IIa)		Zone(III)	
		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)		Séisme lointain		Séisme proche	
Bâtiment (R+4)	P .P	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)
	$S_d$ (m)	0.054	0.051	0.041	0.036	0.022	0.023	0.048	0.043	0.032	0.039	0.052	0.045
	$S_a$ (m/s <sup>2</sup> )	1.52	1.46	1.33	1.35	0.81	0.85	1.35	1.29	1.07	1.31	1.45	1.38

Tableau V.26. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+4)

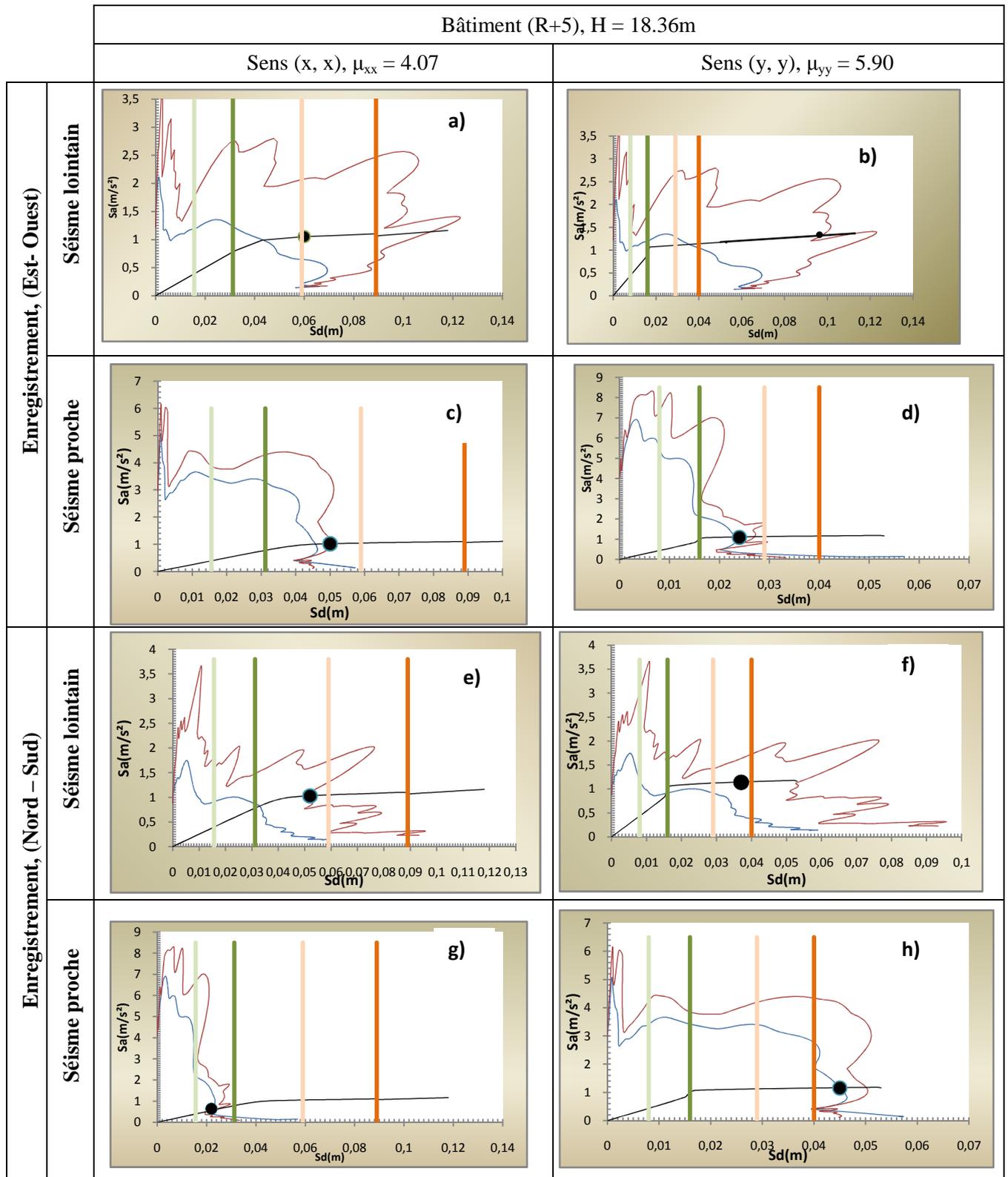
En regardant les figures (V. 60.a-l), nous pouvant déduire que :

- Le point de performance sismique de la structure se localise dans le palier élastique.
- Le degré d'endommagement est de l'ordre  $D_{III}$  (dégâts sensibles et importants), suivant l'enregistrement (Nord-Sud) et (Est-Ouest) du au séisme lointain et pour la zone III de RPA. Ce degré d'endommagement est de l'ordre de  $D_{II}$  (dégâts modérés) en enregistrement (Est-Ouest) du au séisme proche et pour la zone IIa de RPA.

- L'accélération pour le bâtiment (R+4) varie entre (0.81 et 1.45m/s<sup>2</sup>).
- Le déplacement maximal du bâtiment (R+4) a une valeur 0.054m et il est donné par le séisme lointain d'enregistrement sismique de direction (Est-Ouest) dans le sens (x,x) du bâtiment.

V.6.5. Bâtiment (R+5)

Les résultats de l'étude pour le bâtiment (R+4) sont résumés dans ce qui suit :



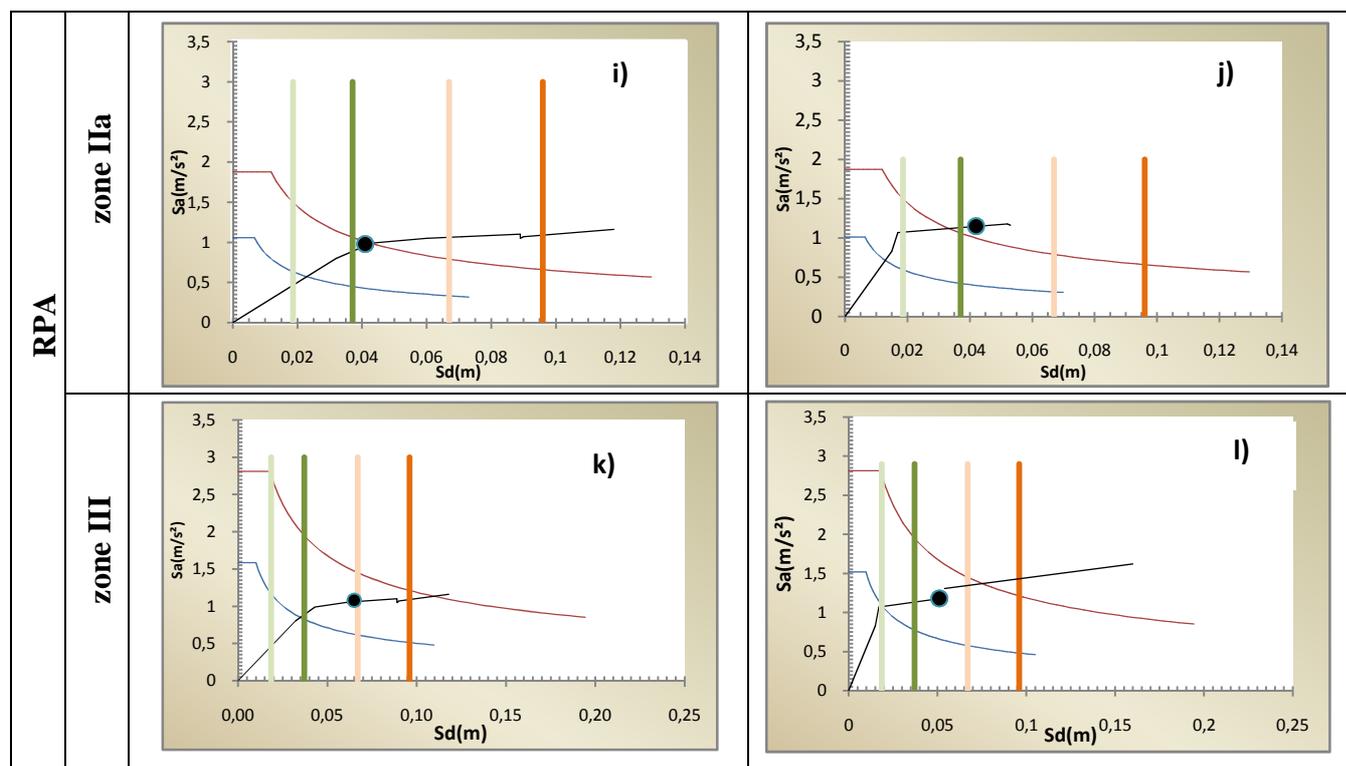


Figure V.61. Effet de seimes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+5)

V.6.6. Analyse et commentaire

Le tableau (V.27) nous donne les points de performances sismiques qui représentent le comportement du bâtiment (R+5) d'une hauteur H = 18.36m :

		Enregistrements accélérométriques								RPA			
		Séisme lointain				Seime proche				Zone (IIa) Séisme lointain		Zone(III) Séisme proche	
		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)					
Bâtiment (R+5)	P.P	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)
	$S_d(m)$	0.062	0.098	0.052	0.043	0.022	0.024	0.050	0.045	0.041	0.042	0.065	0.051
	$S_a(m/s^2)$	0.91	1.33	1.03	1.14	0.64	1.08	1.02	1.15	0.98	1.15	1.08	1.18

Tableau V.27. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+5)

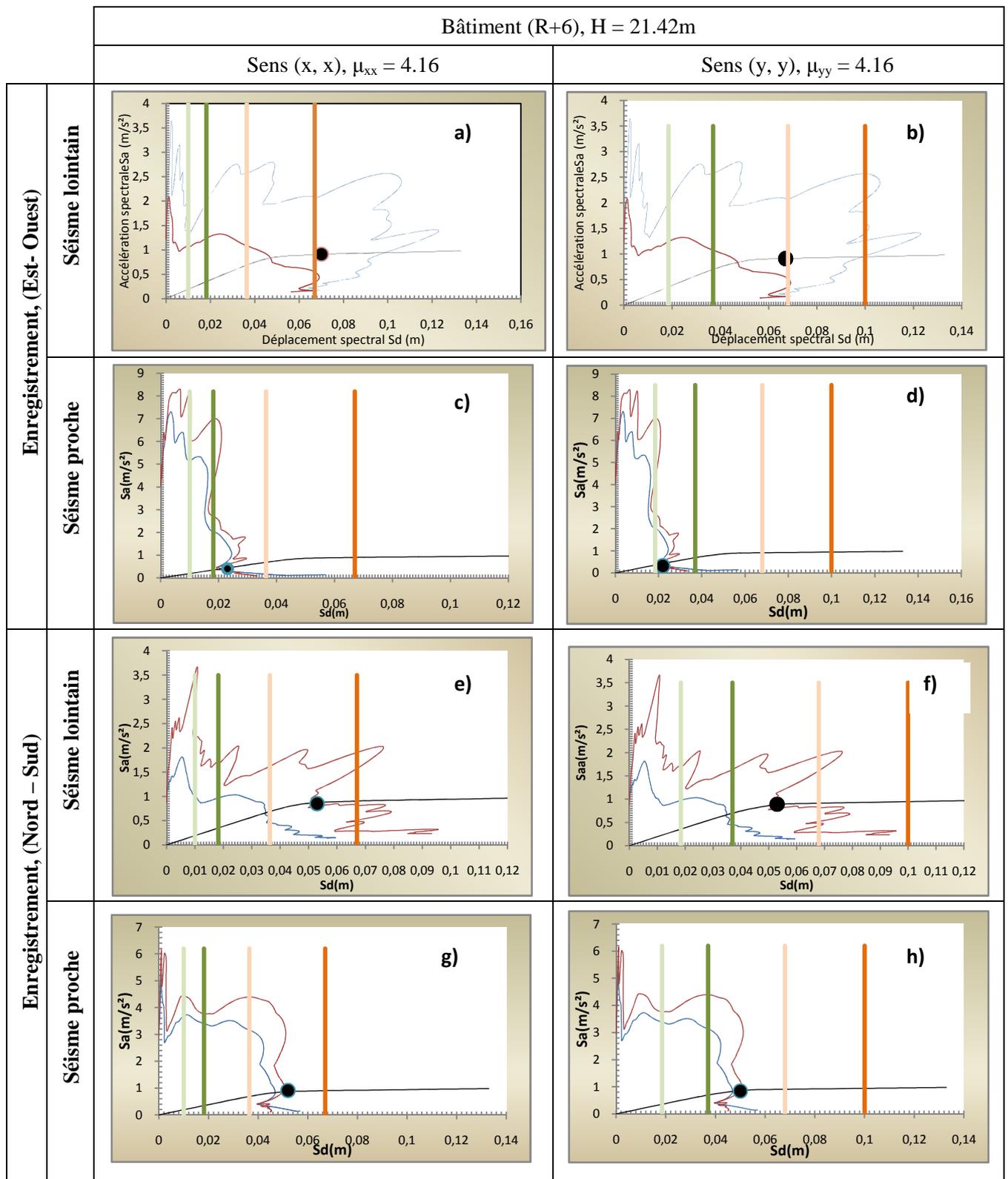
A partir des figures (V. 61.a-l), nous pouvons constater que :

- Premièrement, nous notons que tous les points de performance sismique du bâtiment se trouvent dans le palier plastique.
- Dans la direction (y,y), l'état d'endommagement est de degré D<sub>IV</sub> (dégâts très importants) pour l'enregistrement (Nord-Sud) dans tous les cas de séismes (proche ou lointain).

- Par contre l'état d'endommagement est de degré  $D_{III}$  (dégâts sensibles et importants) dans la direction (x,x) dans l'enregistrement (Est-Ouest) et (Nord-Sud).
- L'accélération est moins élevée par rapport à la structure de (R+4) qui varie entre (0.64 et 1.18m/s<sup>2</sup>).
- Le déplacement maximal du bâtiment (R+5) a une valeur 0.098m qui est donné par le séisme lointain d'enregistrement sismique de la direction (Est-Ouest) dans le sens (y,y) du bâtiment.

V.6.7. Etude du bâtiment (R+6)

Les résultats et les conclusions de l'étude du bâtiment (R+6) sont présentés dans ce qui suit :



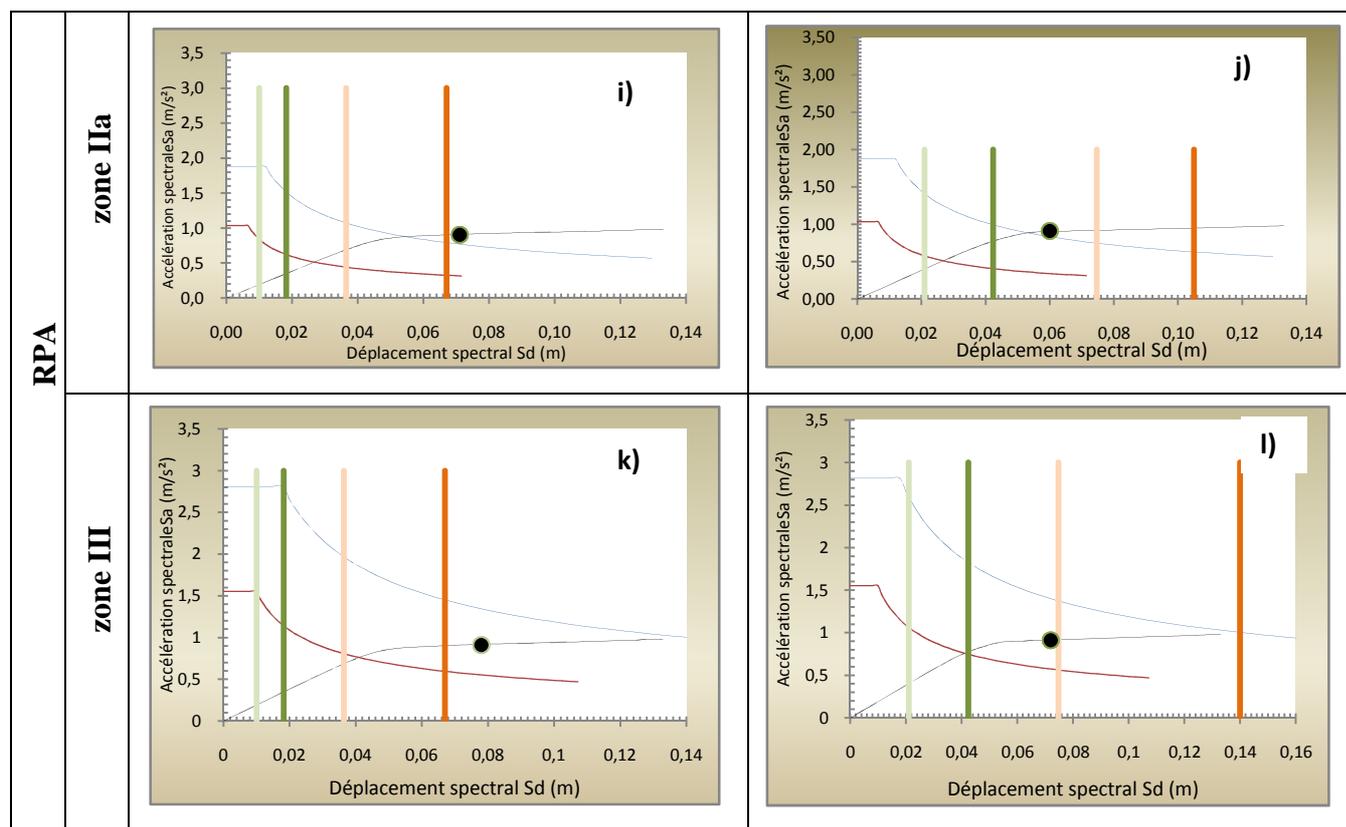


Figure V.62. Effet de séismes proche et lointain sur la performance sismique et l'état d'endommagement du bâtiment (R+6)

### V.6.8. Analyse et commentaire

Le tableau (V.28) nous donne les points de performances sismiques qui représentent le comportement du bâtiment (R+6) d'une hauteur  $H = 21.42m$  :

		Enregistrements accélérométriques								RPA			
		Séisme lointain				Seime proche				Zone (IIa) Séisme lointain		Zone(III) Séisme proche	
		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)		Direction (Est-Ouest)		Direction (Nord-Sud)					
Bâtiment (R+6)	P.P	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)	Sens (x,x)	Sens (y,y)
	$S_d(m)$	0.0745	0.067	0.053	0.053	0.023	0.022	0.052	0.05	0.071	0.060	0.078	0.072
	$S_a(m/s^2)$	1.08	0.91	0.85	0.89	0.41	0.32	0.91	0.84	0.90	0.91	0.91	0.91

Tableau V.28. Les points de performance obtenus dans le cas du bâtiment (R+6)

A partir des figures (V. 62.a-l), nous remarquons que :

- Au premier lieu, une influence très visible des séismes sur le point de performance sismique, principalement dans le sens (x,x) du bâtiment. De plus, tous les points de performances sismiques se trouvent totalement dans le palier plastique.
- L'état d'endommagement est de degré  $D_{IV}$  (dégâts très importants) pour l'enregistrement sismique (Nord-Sud) pour le séisme proche et le séisme lointain dans le sens (x,x) du bâtiment.

- L'état d'endommagement est de degré  $D_V$  (destruction) pour le cas de l'enregistrement sous forme de spectre de réponse du RPA et de l'enregistrement sismique (Est-Ouest) du séisme lointain dans le sens (x,x) du bâtiment.
- L'état d'endommagement est de l'ordre  $D_{III}$  (dégâts sensibles et importants) dans le sens (y,y) du bâtiment pour les deux séismes.
- L'accélération pour ce bâtiment (R+6) est moins élevée par rapport à la structure de (R+5) et elle varie entre (0.64 à 1.18m/s<sup>2</sup>).
- Le déplacement maximal que subit le bâtiment (R+6) a une valeur 0.078m et il obtenu dans le cas du séisme proche (zone III) introduit sous forme de spectre du RPA dans le sens (x,x) u bâtiment.

### **V.6.9. Conclusion**

Le type de l'enregistrement du séisme et l'élévation en hauteur influencent directement le comportement et la performance sismique des bâtiments. Cette influence est plus importante lorsque les enregistrements sont de type accélérométriques dans le cas des séismes lointains. Cette influence est de moindre importance lorsque le séisme est proche. Contrairement, les spectres de réponse réglementaire de RPA ont une influence beaucoup plus importante lorsque le séisme est proche.

### **V.7. La comparaison entre les enregistrements accélérométriques du séisme proche et lointain**

Nous présentons dans ce qui suit une comparaison en termes de déplacements maximums sous forme d'histogrammes entre les deux séismes (proche et lointain) obtenus lors des études des quatre bâtiments. Ces études sont effectuées selon les deux directions des séismes E-O et N-S.

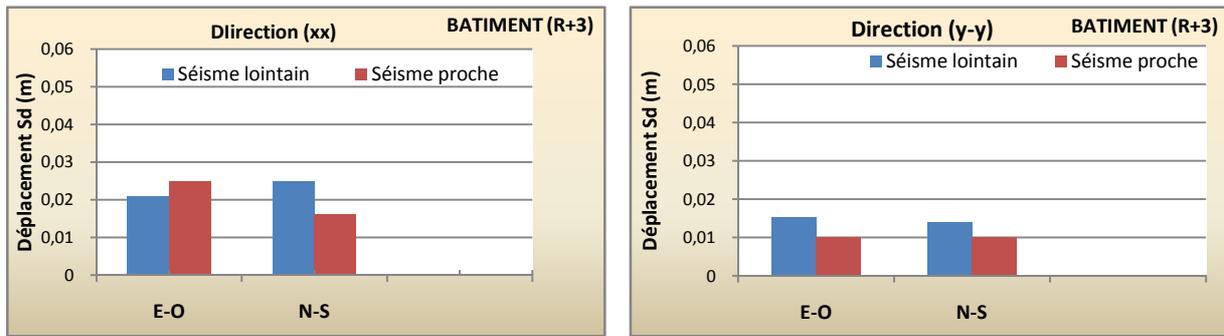


Figure V.63. Point de performance du bâtiment (R+3) selon les deux directions (xx) et (yy)

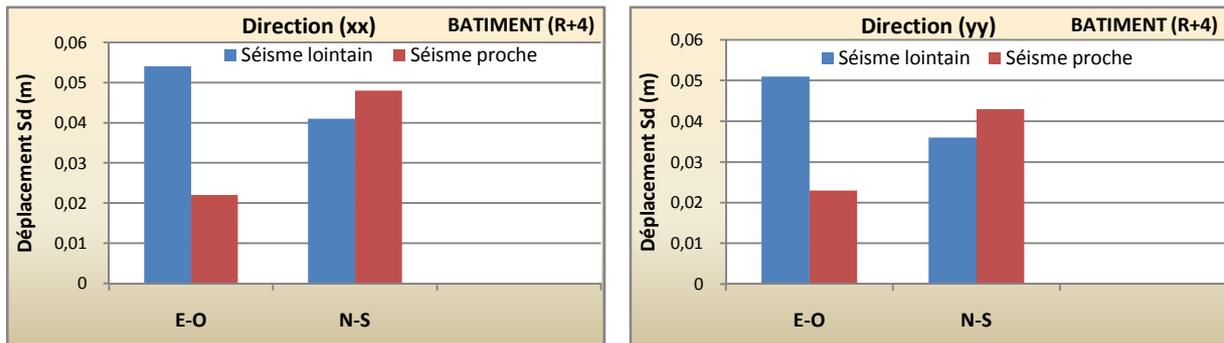


Figure V.64. Point de performance du bâtiment (R+4) selon les deux directions (xx) et (yy)

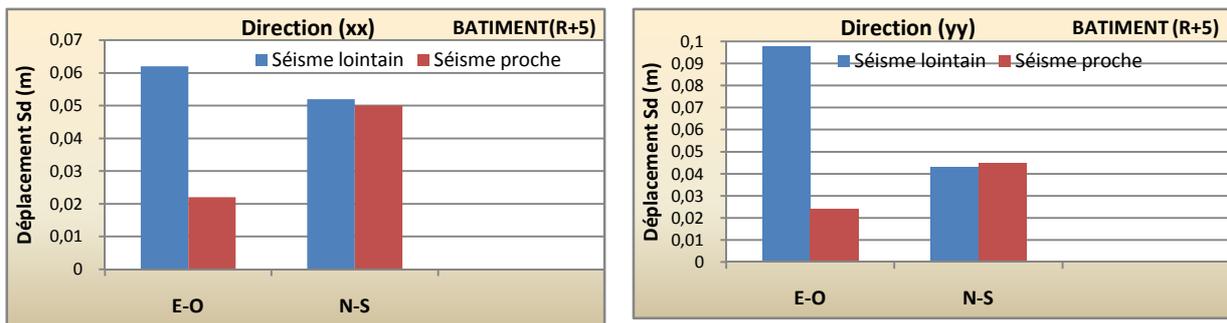


Figure V.65. Point de performance du bâtiment (R+5) selon les deux directions (xx) et (yy)

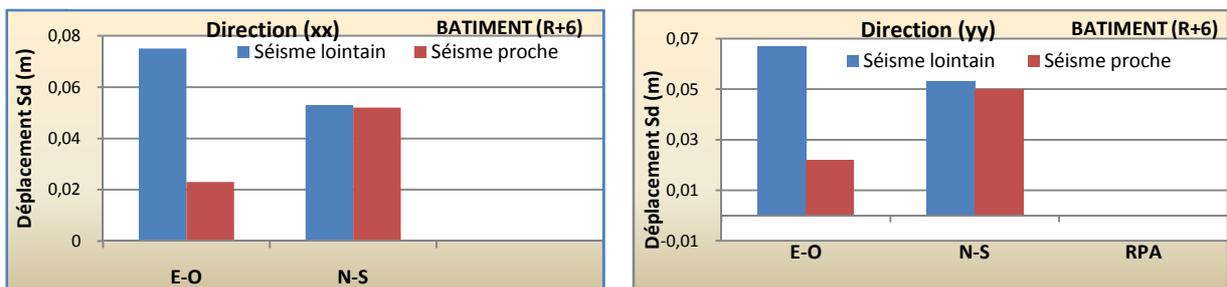


Figure V.66. Point de performance du bâtiment (R+6) selon les deux directions (xx) et (yy)

### **V.8. Conclusion :**

A travers cette étude, nous constatons que :

- L'enregistrement accélérométrique du séisme lointain de direction (Est- Ouest) à une influence plus importante que le séisme proche sur le comportement et la performance des quatre bâtiments.
- Les déplacements spectraux croissent avec l'augmentation de la hauteur des bâtiments, et ces déplacements sont plus importants dans le cas du séisme lointain de direction (Est- Ouest).

### V.9. Comparaison entre les enregistrements accélérométriques et les enregistrements de type réglementaires du (RPA) pour les cas de séisme proche et lointain

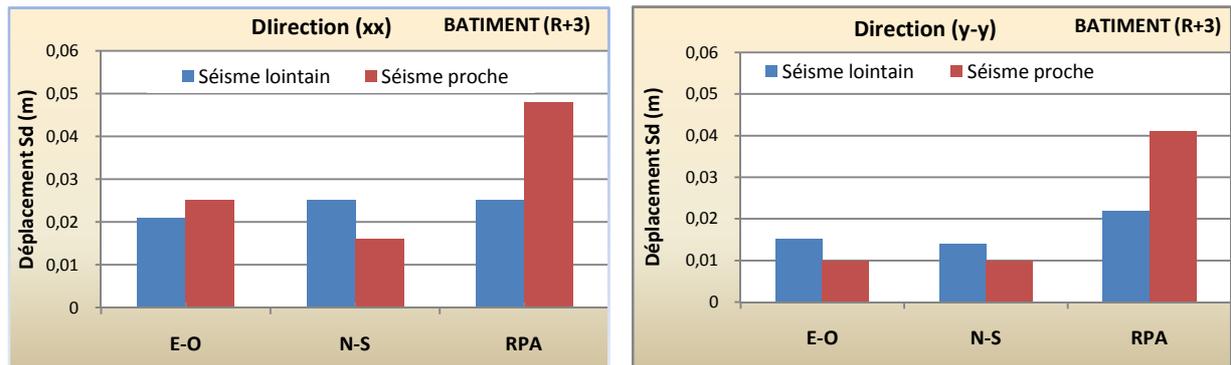


Figure V.67. Point de performance du bâtiment (R+3) selon les deux directions (xx) et (yy)

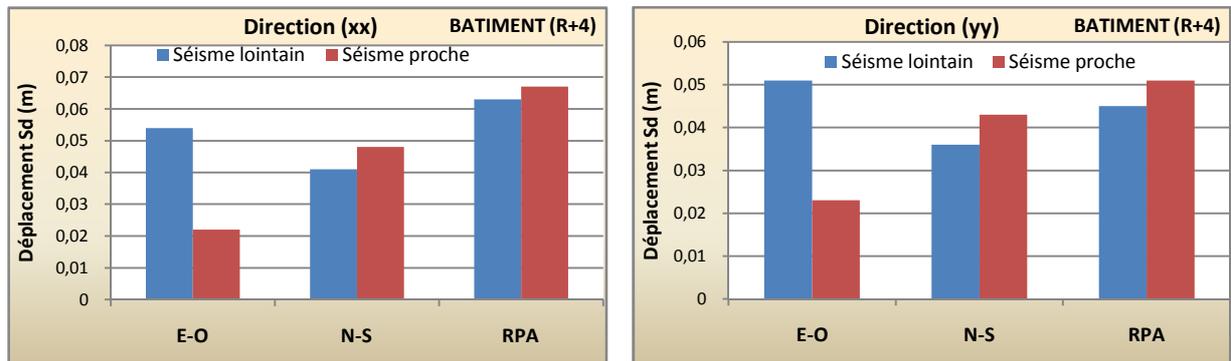


Figure V.68. Point de performance du bâtiment (R+4) selon les deux directions (xx) et (yy)

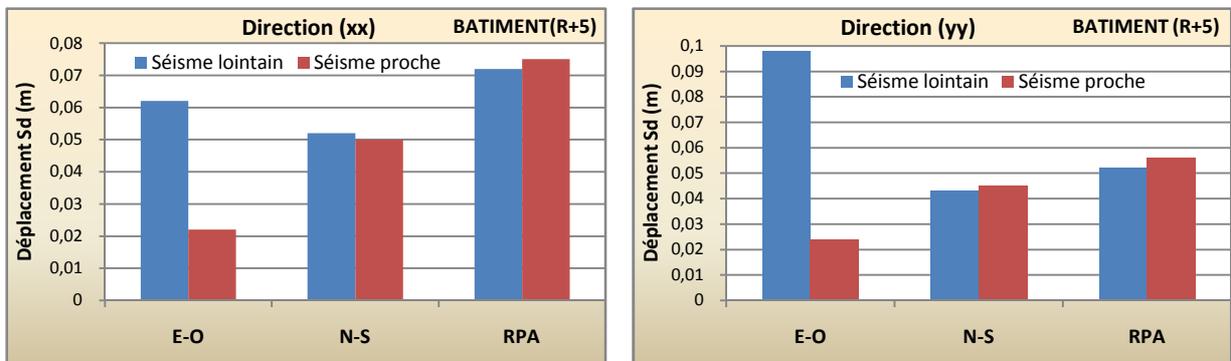


Figure V.69. Point de performance du bâtiment (R+5) selon les deux directions (xx) et (yy)

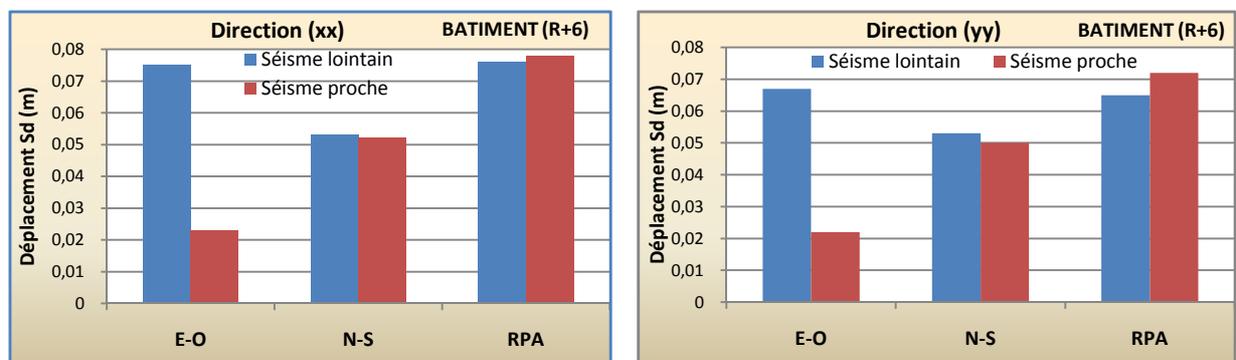


Figure V.70. Point de performance du bâtiment (R+6) selon les deux directions (xx) et (yy)

**V.10. Conclusion :**

Dans le cas d'introduction des spectres de réponses réglementaires, nous pouvons dire que :

- Le séisme proche a une influencé plus prononcé sur le comportement et la performance des bâtiments ; et particulièrement dans le sens (x- x) du bâtiment.
- Les déplacements spectraux obtenus dans le cas des enregistrements sous forme de spectres de réponse réglementaire RPA sont plus grands que ceux obtenus par des enregistrements accélérométriques. Ces déplacements augmentent avec l'augmentation des hauteurs des bâtiments.

**V.11. Le taux de variation du point de performance sismique**

Le taux de variation de point de performance sismique selon le type de séisme (lointain et proche) selon les deux directions (xx) et (yy) sont résumés dans les tableaux suivants :

	Direction (x-x)					Direction (y-y)				
	Dp <sub>u</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (%)	Séisme		Dp <sub>u</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (%)	Séisme	
				proche	lointain				proche	lointain
<b>Bâtiment (R+3)</b>	0.103	0.025	24.27		E.O	0.076	0.015	19.74		E.O
<b>Bâtiment (R+4)</b>	0.109	0.054	49.54		E.O	0.116	0.051	43.96		E.O
<b>Bâtiment (R+5)</b>	0.118	0.062	52.54		E.O	0.118	0.098	83.05		E.O
<b>Bâtiment (R+6)</b>	0.133	0.075	56.39		E.O	0.133	0.067	50.37		E.O

**Tableau V.29. Le taux de variation du point de performance sismique entre les enregistrements accélérométriques de séisme proche et lointain dans les deux directions (xx) et (yy)**

	Direction (x-x)					Direction (y-y)				
	Dp <sub>u</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (%)	Séisme		Dp <sub>u</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (m)	Dp <sub>max</sub> (%)	Séisme	
				proche	lointain				proche	lointain
<b>Bâtiment (R+3)</b>	0.103	0.048	46.60	RPA		0.076	0.041	53.95	RPA	
<b>Bâtiment (R+4)</b>	0.109	0.067	61.47	RPA		0.116	0.051	43.96	RPA	
<b>Bâtiment (R+5)</b>	0.118	0.075	63.56	RPA		0.118	0.098	83.05	RPA	
<b>Bâtiment (R+6)</b>	0.133	0.078	58.65	RPA		0.133	0.072	54.13		E.O

**Tableau V.30. Le taux de variation du point de performance sismique entre les enregistrements accélérométriques et règlementaires (RPA) du séisme proche et lointain dans les deux directions (xx) et (yy)**

**V.12. Commentaire :**

Nous remarquons d'après les tableaux ci-dessus que :

- Premièrement, le taux de variation du point de performance sismique en termes de déplacement spectral est plus important dans la direction (Est- Ouest) du séisme lointain et il croit avec la hauteur du bâtiment.
- La comparaison effectuée entre l'enregistrement accélérométrique et les spectres de réponse réglementaires de séisme proche et lointain permette de constater que le taux de variation du point de performance sismique (en termes de déplacement spectral) est plus dominant dans le cas de séisme proche introduit sous forme de spectres de répons réglementaire (RPA) dans le sens (x- x) et (y- y).



# **Conclusion générale**



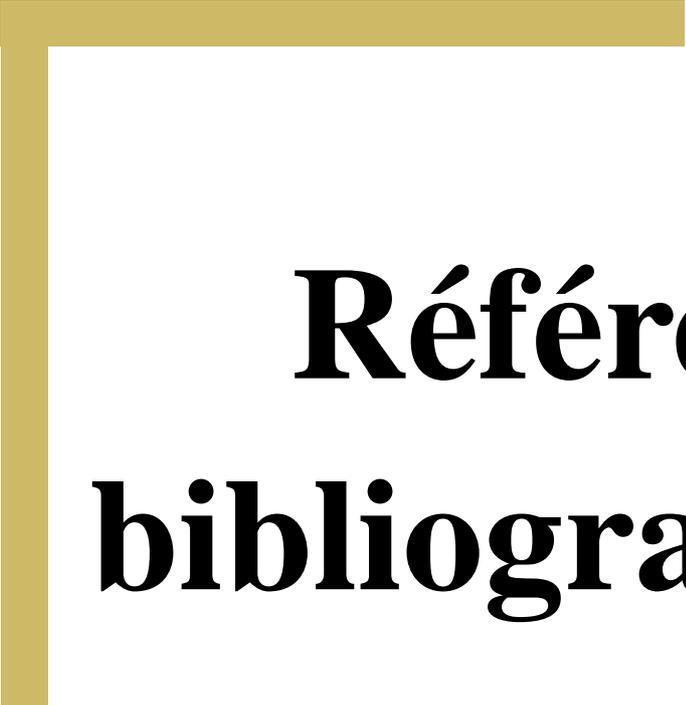
## **Conclusion générale**

Les résultats que nous avons obtenus nous permettent de mieux cerner le problème du comportement des structures auto-stables vis-à-vis des séismes lointains et proches et de mieux les étudier en utilisant la méthode de performance sismique. En effet, la même structure ne réagit pas de la même façon lorsqu'elle subit un séisme proche ou lointain. Les chargements qui sont introduits sous forme d'accélérogrammes ont des incidences directes sur le comportement dans le domaine plastique. Continuer à étudier le comportement des bâtiments en portiques auto-stables dans le domaine élastique uniquement et de la même façon que le séisme soit proche ou lointain est une erreur.

Après avoir défini les paramètres essentiels d'évaluation d'un séisme, nous avons élaborés les spectres de réponses pour les séismes lointains et les séismes proches. Et afin de pousser les structures à travailler dans leurs états plastiques, la méthode du point de performance a été montée et programmée. Cette méthode nous donne, non seulement le point de performance, mais aussi évalue les dommages attendus. Ensuite des applications sur une série de bâtiments en (R+3), (R+4), (R+5) et (R+6) implantés dans deux zones de sismicité différente (Azzazga et Boumerdes) sont menées.

A travers ces applications nous pouvons conclure que :

1. Les déplacements spectraux ainsi que les degrés d'endommagement sont différents selon que le séisme soit proche ou lointain.
2. La performance sismique de la structure est directement liée à la distance focale.
3. Le contenu fréquentiel, la durée de l'excitation, le sol d'assise et le niveau d'accélération sont des facteurs essentiels qui agissent sur le comportement structurel du bâtiment.
4. Une des conclusions, est c'est la plus importante, est que les déplacements spectraux et les degrés d'endommagement sont plus importants lorsque le séisme est considéré comme lointain lorsque le signal est introduit sous forme d'accélérogramme.
5. Par contre lorsque le signal est introduit sous forme de spectre réglementaire (RPA), les déplacements spectraux et les degrés d'endommagement sont plus importants lorsque le séisme est proche.



# **Références bibliographiques**



**Références bibliographiques**

- [1]. POC –Géologie de l'ingénieur (génie parasismique).
- [2]. BRGM/RP-5493-FR rapport sur l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique des îles Walis et Futuna (rapport \_alea\_Walis et Futuna).
- [3]. KADID Abdelkrim. Projet de recherche (Analyse sismique tri dimensionnelle des structures en béton armé).
- [4]. J Douglas A Roullé, P Dominique, C Maurin, Dunand (Traitement des données accélérométriques Cgénéral de la Martinique).
- [5]. Jacques Betbeder – Matibet. GENIE PARASISMIQUE « Risque et aleas sismiques (volume 2) »
- [6]. Jérémy Gayet ; Stéphane Kovacs ; Gaeltardio ; Teminale STL PLPI, lycée Lavoisier de Mulhouse (les tremblement de terre, construction d'un sismographe « pdf-mémoire ».
- [7]. Thèse d'ingénieur [HABBI Djamel-HAMADI Sofiane-HASSANI Karim] «Evaluation de la performance sismique d'un bâtiment auto-stable (R+5) conforté par les palées de stabilité ».
- [8]. Patricia BALANDIER (élément de sismologie appliquées la construction à l'usage des techniciens du bâtiment.
- [9]. Eurocode 8 (dimensionnement et la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil en zone sismique.
- [10]. Applied Technology Council ATC40. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.
- [11]. Mémoire du magister, présenté par AMOURI Chahinez « construction des spectres de réponse pour la région de Constantine » .
- [12]. P O I C – Géologie de l'ingénieur
- [13]. Jacques DUBOIS, Michel DIAMENT, Enseignant des sciences de la terre « Géophysique » édition Masson.1997.
- [14]. Mémoire du magister dpt de génie civil, UMMTO présenté par leyla BOUZID « Caractérisation des sols et leurs influences sur la vulnérabilité du bâtiment existant».
- [15]. PIERRE ALAIN, Contribution à la prédiction du dommage des structures en béton armé sous sollicitation sismiques.
- [16]. Mémoire du magister dpt de génie civil, UMMTO « Méthode d'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment existant vis-à-vis du risque sismique.
- [17]. Mémoire du magister dpt de génie civil, UMMTO présenté par KAHIL Amar « Evaluation de la performance sismique des bâtiments ».
- [18]. E.O.S.T Strasbourg. Documents pédagogiques.
- [19]. R.P.A « Le Règlement Parasismique Algérien 99/v2003 »

- [20]. HAMOU KADA, RAMDANE KHEI EDDINE, « Etablissement de la courbe de fragilité par la méthode PUSHEVER ».
- [21]. Thèse de doctorat présenté par DJEBBAR Nabil « Contribution à l'étude de la performance Parasismique des éléments linéaire en béton ».
- [22]. V. Gioncu, F.M.Mazzolani, « Ductility of Seismic Resistant Steel Structures » Spon Press, Guilford U. K 2002.
- [23]. R.Park, Capacity Design of Ductilite of R C Building Structures for Earthquake Resistance, The Structural Engineer, Aug 1992.
- [24]. BELMOUDEN Youcef, PIERINO Lestuzzi. Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en Suisse (EPFL).
- [25]. Rapport de mission (Séisme de BOUMERDES du 21 mai 2003) par Victor DAVIDOVICI – Consultant – 23 juillet 2003
- [26]. Document d'information à l'usage du constructeur –(VOLUME 1) Conçu par Mme Patricia BALANDIER « LE SEISME ET LES SITES CONSTRUCTIBLES ».
- [27]. ETABS (Extended Three Dimensional Analysis Of Building Systems Nonlinear) version 9.6.0. E-mail: info@csiberkeley.com support@csiberkeley.com
- [28]. Rapport de stage DEA “Etude du comportement d'un Poteau en béton armé sous une excitation aléatoire” par ERIC LOPES.
- [29]. Pierre SOLLOGOUB et Ioannis POLITOPOULOS (Université Pierre et Marie Curie – PARIS VI) « La vulnérabilité des structures sous les séismes proches et lointains ».
- [30]. Bourada Sofiane, BranciTaïeb, Tamahloult Mohammed (Université Hassiba Benbouali, Hay Es-salem BP 151, Chlef) « l'évaluation de la réponse sismique d'une structure auto-stable en béton armé sous l'effet des séismes proches et lointains ».
- [31]. FEMA 273 (Federal Emergency Management Agency), NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS



# Annexes



# Annexe A

## *Description et classification des structures*

<b>Typologies</b>	<b>Description des structures</b>
<b>Classe A</b> $\mu_{\Delta} > 6.5$	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bâtiments contreventés par des portiques en acier avec remplissage en maçonnerie</li></ul>
<b>Classe B</b> $4.0 < \mu_{\Delta} < 6.5$	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bâtiments contreventés par des portiques en béton armé avec remplissage en maçonnerie.</li><li>➤ Bâtiments contreventés par des voiles en béton.</li><li>➤ Bâtiments contreventés par des portiques et des voiles.</li></ul>
<b>Classe C</b> $1.0 < \mu_{\Delta} < 4.0$	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Maçonnerie ancienne en pierres non taillées.</li><li>➤ Maçonnerie chaînée en éléments préfabriqués en béton ou terre cuite, avec planchers en béton armé.</li></ul>

**Tableau 1 : Description et classification des structures.**

## Annexe B

### Les valeurs de l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ )

Pour chaque typologie de structure (A, B et C)(annexe A), nous calculons les valeurs de l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) en fonction des rapports obtenus à l'étape 5 de la procédure C (tableau2, tableau.3 et tableau.4) suivants :

		$(\frac{S_{a_{pi}}}{S_{a_y}} - 1) / (\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}} - 1)$					
$\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}}$	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.05</b>	<b>0</b>
10	10	12	16	21	30	37	40
8	11	14	18	23	31	37	40
6	13	16	20	25	33	37	40
4	16	19	23	28	34	37	40
3	16	19	23	27	33	36	39
2	16	19	22	25	29	31	33
1.5	13	16	18	20	23	24	24
1.25	11	12	13	15	16	17	18

**Tableau .2.Valeurs de l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) en % pour les structures de type A**

		$(\frac{S_{a_{pi}}}{S_{a_y}} - 1) / (\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}} - 1)$					
$\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}}$	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.05</b>	<b>0</b>
10	9	10	12	16	23	27	29
8	9	11	13	17	24	27	29
6	10	12	15	19	25	27	29
4	11	14	17	21	25	27	29
3	12	14	17	21	25	27	29
2	12	14	16	19	22	24	25
1.5	11	12	14	15	17	18	18
1.25	9	10	10	11	12	13	13

**Tableau .3.Valeurs de l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) en % pour les structures de type B**

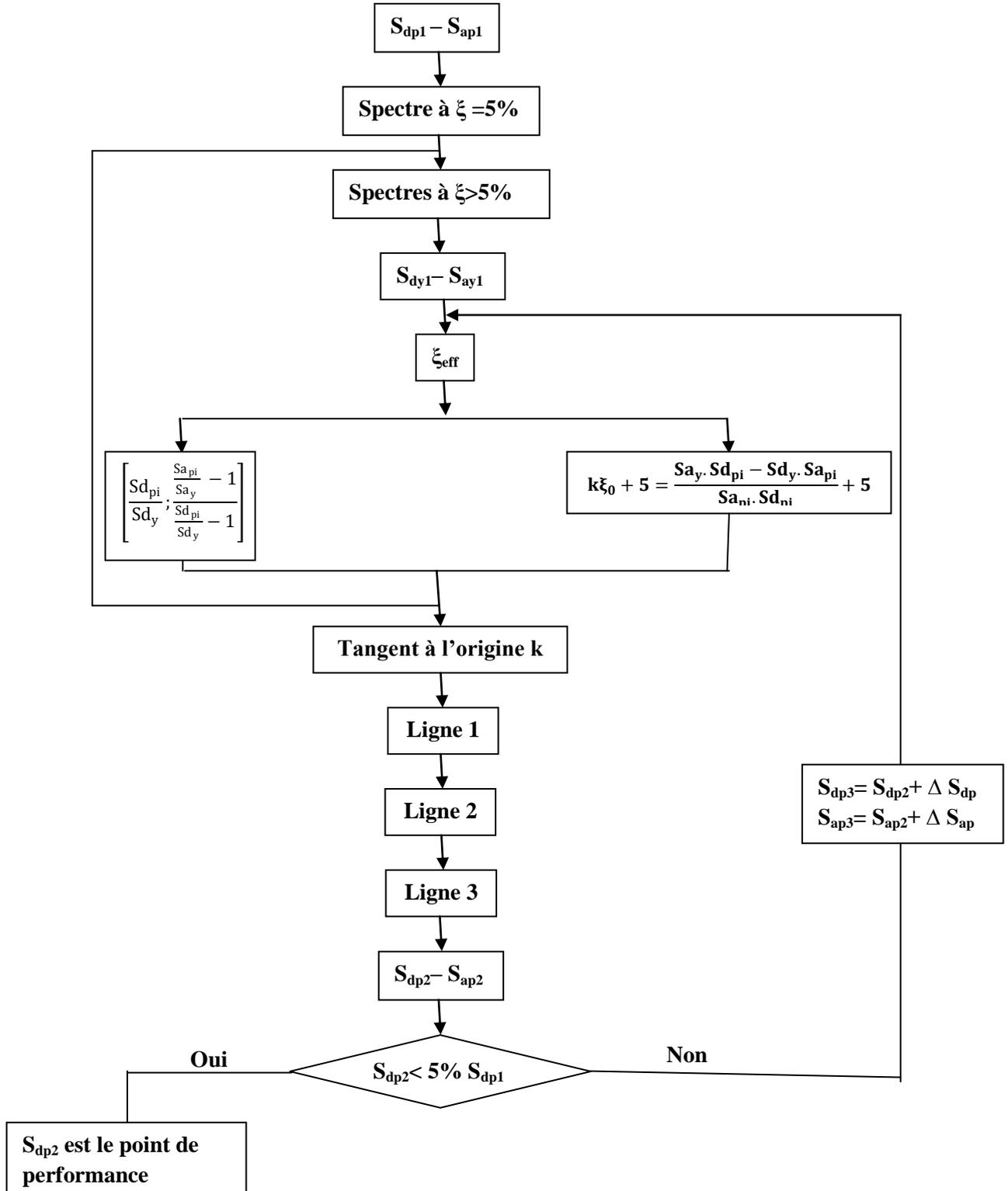
		$(\frac{S_{a_{pi}}}{S_{a_y}} - 1) / (\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}} - 1)$					
$\frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}}$	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.05</b>	<b>0</b>
10	7	7	9	10	14	17	20
8	7	8	9	11	15	18	20
6	7	9	10	12	16	18	20
4	8	9	11	13	16	18	20
3	9	10	11	13	16	17	19
2	9	10	11	12	14	15	16
1.5	8	9	9	10	11	11	11
1.25	7	7	8	8	9	9	9

**Tableau .4.Valeurs de l'amortissement effectif ( $\xi_{eff}$ ) en % pour les structures de type C**

# Annexe C

## Organigramme de la procédure C

### Organigramme de la procédure C



## Annexe D

### Classification des dégâts aux bâtiments

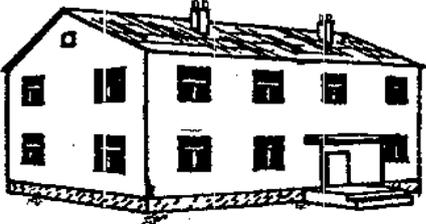
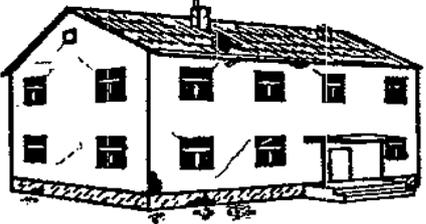
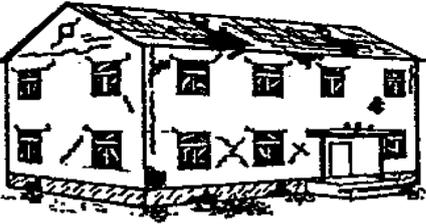
<b>Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie</b>	
	<p><b>Degré 1: Dégâts négligeables à légers</b> (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux)</p> <p>Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.</p>
	<p><b>Degré 2: Dégâts modérés</b> (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)</p> <p>Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.</p>
	<p><b>Degré 3: Dégâts sensibles à importants</b> (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants)</p> <p>Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons).</p>
	<p><b>Degré 4: Dégâts très importants</b> (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)</p> <p>Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers.</p>
	<p><b>Degré 5: Destruction</b> (dégâts structuraux très importants)</p> <p>Effondrement total ou presque total.</p>

Tableau .5. Classification des dégâts aux bâtiments