

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri TIZI-OUZOU

Faculté du Génie de la construction

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE MASTER RECHERCHE

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures et matériaux

Sujet

*Analyse du comportement des structures élancées
en plan*

ENCADRE PAR :

Dr. M. HAMIZI

REALISE PAR :

LOUNAS Boualem

DEDICACES

Je tiens à dédier ce travail aux personnes les plus chères à mon cœur, ma mère **FEROUDJA**, mon père **MHEMED**, mon frère Nassim et mes jolies sœurs Samia et Nabila, et son mari, car c'est grâce à leurs soutiens que j'ai pu arriver à ce stade ; je souhaite que ce travail soit à la hauteur de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi.

A ma famille.

A mes amis.

A tous ceux qui me sont chères.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la patience, ainsi que la volonté et le courage de réaliser ce travail : "Al hamdou lillah" .

En premier lieu, j'adresse mes remerciements et ma reconnaissance à monsieur Mohand HAMIZI, de m'avoir confié le présent sujet de recherche. Ses conseils pertinents, son dynamisme et ses encouragements continus qui m'ont aidé à mener à bien ce travail.

J'exprime ma reconnaissance et sympathie à monsieur A.KAHIL maître assistant à l'université MOULOUD MAMMERI de Tizi Ouzou, pour son aide et ses encouragements.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres de jury de m'avoir honoré, de juger ce modeste travail.

Enfin, je rends hommage à mes parents et à toute ma famille et amis pour le soutien qu'ils m'ont donné durant toutes mes années d'étude.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Mouvement des plaques tectoniques.....	4
Figure I.2 : Caractéristiques d'un séisme.....	7
Figure I.3 : Onde de type P.....	9
Figure I.4 : Onde de type S.....	9
Figure I.5 : Onde de Rayleigh.....	10
Figure I.6 : Ondes de surface (l'onde de love).....	10
Figure I.7 : Décomposition de l'action sismique.....	11
Figure I.8 : carte de la sismicité de nord algérien.....	12
Figure I.9 : Comportement d'un bâtiment lors d'un séisme.....	14
Figure I.10 : Séisme de Lambesc, 1909.....	15
Figure I.11 : Séisme mexico 1985.....	16
Figure I.12 : Séisme de Kobé, 1995.....	17
Figure I.13: Séisme d'Izmit 1999.....	18
Figure I.14 : Rupture en diagonale Produite par cisaillement.....	19
Figure I.15 : Flexion d'un bâtiment sous charges sismiques.....	20
Figure I.16 : Effet P-Delta.....	21
Figure I.17 : Oscillations verticales des constructions.....	21
Figure I.18 : Oscillations horizontales.....	22
Figure I.19: Torsion d'ensemble due à l'asymétrie des éléments latéralement rigides.....	22
Figure I.20 : Torsion accidentelle.....	23
Figure I.21 : Torsions d'ensemble.....	25

Figure I.22 : Formes favorables, plans simples ayant au moins 2 axes de symétrie.....	26
Figure I.23 : Diverses solutions pour remédier au problème des angles rentrant.....	27
Figure I.24 : dommages sismiques occasionnés aux bâtiments comportant des ailes.....	28
Figure I.25 : Formes défavorables.....	28
Figure I.26 : bâtiment de grande longueur.....	29
Figure I.27 : dommage dus à la présence de niveaux en retrait.....	30
Figure I. 28 : différentes possibilités de fractionner un immeuble de forme irrégulière.....	31
Figure I.29 : dommages sismique à cause de l'irrégularité (Séisme de Northridge, 1994).....	32
Figure I.30 : Les fissures en croix et les ruptures par effort tranchant qui ont affecté les colonnes courtes (Northridge, Californie, 1994).....	33
Figure I. 31 : utilisation des joints dilatation.....	34
Figure I.32 : Mouvements de blocs voisins.....	34
Figure I. 33 : disposition de joint de rupture et joint de dilatation.....	36
Figure I. 34: largeur minimum du joint sismique.....	37
Figure I.35: (Japon, Document X) Joint parasismique.....	38
Figure I.36 : (Basse-Terre, Document P. Balandier) – Joint parasismique.....	39
Figure I.37 : Entrochoquement de bâtiments pour cause de joint trop étroit au regard des déplacements réels.....	39
Figure. II.1 : le spectre de réponse format $(S_a / g - T)$	42
Figure. II.2 : Le spectre de réponse format $(S_a - S_d)$	42
Figure. II. 3 : la courbe de capacité.....	43
Figure. II.4 : Courbe de capacité $V = f(\delta)$	44
Figure. II.5: Courbe de capacité $S_a = f(S_d)$	44
Figure II .6 : Courbes capacité-demande (La demande est inférieure à la capacité).....	45

Figure II .7 : Courbes capacité-demande (La demande est égale à la capacité).....	45
Figure II.8 : Courbes capacité-demande (La demande est supérieure à la capacité).....	46
Figure II.9 : Niveaux d'endommagement décrits par une courbe de capacité.....	48
Figure II .10 : Endommagement correspondant.....	48
Figure II .11 : Représentation bilinéaire de la courbe de capacité.....	50
Figure III.1 : Vue en plan du 1 ^{er} bâtiment.....	55
Figure III.2 : Vue en 3D 1 ^{er} du bâtiment.....	55
Figure III.3 : Vue en plan du 2 ^{eme} bâtiment.....	56
Figure III.4 : Vue en 3D du 2 ^{eme} bâtiment.....	56
Figure III.5 : Vue en plan du 3 ^{eme} bâtiment.....	57
Figure III.6 : Vue en 3D du 3 ^{eme} bâtiment.....	57
Figure III.7 : Vue en plan du 4 ^{eme} bâtiment.....	58
Figure III.8 : Vue en 3D du 4 ^{eme} bâtiment.....	59
Figure III.9 : Vue en plan du 5 ^{eme} bâtiment.....	60
Figure III.10 : Vue en 3D du 5 ^{eme} bâtiment.....	60
Figure III.11. Formation des rotules plastiques.....	62
Figure IV.1 : courbe de capacité selon la direction (xx).....	65
Figure IV.2 : courbe de capacité selon la direction (yy).....	65
Figure IV. 3 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).....	66
Figure IV. 3 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).....	66
Figure IV.5 : Points de performances selon la direction (xx).....	67
Figure IV.6 : Points de performances selon la direction (yy).....	68
Figure IV.7 : courbe de capacité selon la direction (xx).....	69
Figure IV.8 : courbe de capacité selon la direction (yy).....	69
Figure IV. 9 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).....	70
Figure IV. 10 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).....	70

Figure IV.11 : Points de performances selon la direction (xx).....	71
Figure IV.12 : Points de performances selon la direction (yy).....	72
Figure IV.13 : courbe de capacité selon la direction (xx).....	73
Figure IV.14 : courbe de capacité selon la direction (yy).....	73
Figure IV. 15 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).....	73
Figure IV. 16 : Représentation bilinéaire de la courbe de capacité suivant la direction (yy)....	74
Figure IV.17 : Points de performances selon la direction (xx).....	75
Figure IV.18 : Points de performances selon la direction (yy).....	75
Figure IV.19 : courbe de capacité selon la direction (xx)	77
Figure IV.20 : courbe de capacité selon la direction (yy).....	77
Figure IV. 21 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).....	78
Figure IV. 22 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).....	78
Figure IV.23 : Points de performances selon la direction (xx).....	79
Figure IV.24 : Points de performances selon la direction (yy).....	80
Figure IV.25 : Points de performances selon la direction (xx).....	81
Figure IV.26 : Points de performances selon la direction (yy).....	81
Figure IV. 27 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).....	81
Figure IV. 28 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).....	82
Figure IV.29 : Points de performances selon la direction (xx).....	83
Figure IV.30 : Points de performances selon la direction (yy).....	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Energie libérée pour les différentes magnitudes de Richter.	8
Tableau I.2 : Echelle d'intensité de Mercalli.	10
Tableau I.3 : Principaux séismes d'Algérie (1365-2001)	15
Tableau II .1 : Niveaux d'endommagement.	51
Tableau II.2 : Domaines des dommages.	52
Tableau IV.1.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.....	66
Tableau IV.2. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.....	68
Tableau IV.3.Evaluation des dommages suivant les deux directions.....	69
Tableau IV.4.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.....	70
Tableau IV.5. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.....	72
Tableau IV.6.Evaluation des dommages suivant les deux directions.....	73
Tableau IV.7.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.....	74
Tableau IV.8. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.....	76
Tableau IV.9.Evaluation des dommages suivant les deux directions.....	76
Tableau IV.10.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.....	78
Tableau IV.11. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.....	80
Tableau IV.12.Evaluation des dommages suivant les deux directions.....	81
Tableau IV.1 3.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.....	80
Tableau IV.14. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.....	82
Tableau IV.15.Evaluation des dommages suivant les deux directions.....	82

TABLE DE MATIERS :	Page
Introduction générale	1
 Chapitre I : Généralité sur les séismes et les bâtiments	
I.1. Introduction :	3
I.2. Cause des séismes :	3
I-2-1 Tectonique des plaques :	3
I-2-2 Autres causes de séismes :	5
I.3. Caractéristiques principales :	5
I.3.1.L'hypocentre ou foyer :	5
I.3.2.L'épicentre	5
I.3.3.La magnitude (M) :	6
I.3.4.L'intensité (I) :	7
I.4. Type d'ondes sismiques :	8
I.4.1.Ondes primaires « P » :	8
I.4.2.Ondes transversales « S » :	9
I.4.3.Ondes de surface :.....	9
I.4.3.1. Ondes de Rayleigh ou ondes R :	10
I.4.3.2.Ondes de Love :.....	10
I.5.Enregistrement des séismes:.....	10
I.6 .Action sismique :.....	11
I.7. Sismicité en Algérie :.....	11
I.8.Classification des zones sismiques :.....	13
I.9. Les séismes et la réponse de la construction :.....	14
I.10. effet de séisme sur site :.....	15
I.11. Effet directs :.....	15
I.11.1 Effet de site topographique :.....	15
I.11.2. Effet de site sur le sol meuble (les sols alluvions de forte épaisseur amplifient l'action sismique) :.....	16
I.12. Effets induits :.....	16
I.12.1.Glisement des terrains :.....	16
I.12.2. Tassement :.....	17
I.12.3.Liquéfaction :.....	17
I.13. L'effet du séisme sur les constructions :.....	18
I.13.1. Effet des oscillations horizontales sur les constructions :.....	19
I.13.1.1. Dommages dus aux cisaillements :.....	19
I.13.1.2. Déformation de flexion d'ensemble :.....	19

I.13.1.3.Effet P-Delta :	20
I.13.1.4.Balancement des constructions :	21
I.14.1. Effets des oscillations verticales sur les constructions :	21
I.14.2 : Effets des oscillations horizontales :	21
I.14.3. Effets des oscillations de torsion sur les constructions.....	22
I.14.3.1. Torsion structurelle :	22
I.14.3.2. Torsion accidentelle :	22
I.15. Vulnérabilité sismique des Bâtiments :	23
I.15.1.Les facteurs de vulnérabilité :	24
I.16 .Incidence de la forme des bâtiments sur leur comportement :	25
I.16.1 .Forme en plan :	25
A- symétrie en plan :	25
B -Simplicité du plan :	26
I.16.2.Caractéristiques des joints parasismiques :	27
I.16.3.Rapport longueur /largeur en plan :	29
I.16.4. Forme en élévation :	29
A Symétrie et simplicité des formes en élévation :	29
I.17.Le phénomène de résonance :	31
I.18.Conception des systèmes porteurs :	31
I.18.1.Dispositions communes à tous les systèmes :	31
I.18.2.Régularité :	32
I.18.3.Le but de la régularité :	32
I.19.Les joints :	34
I.19.1.Les types des joints :	35
I.19.2. Dispositions à prendre lors de la conception :	37
I.19.3. Justification de la longueur des joints sismiques :	36
I.19.4. La différence entre un joint de dilatation et un joint parasismique :	37

Chapitre I I : Méthode d'évaluation du point de performance

II.1. Introduction :	41
II.2.Définition de la méthode pushover :	41
II.3 .Origine de l'analyse Pushover :	41
II.4.La demande sismique.....	42
II.4.1. Représentation (Sa-Sd) pour la demande sismique :	42
II.5. Courbe de capacité :	43
II .6. Evaluation du point de performance :	44
II.6.1. Procédure d'évaluation du point de performance :	44
II .6.1.1. La demande est inferieur à la capacité :	45
II.6.1.2 La demande est égale à la capacité :	45
II.6.1.3. La demande est supérieure à la capacité :	46
II.7. But de l'analyse pushover :	46
II.8. Estimation des degrés des dommages :	47
II.8.1. L'échelle de dommage utilisée :	47
II.8.2. Domaine des dommages :	47
II.9. La représentation bilinéaire de la courbe de capacité	50
II.10.Conclusion :	51

Chapitre III : Présentation des bâtiments

III.1.Introduction :	53
III.2. Présentation et description des bâtiments :	53
III.3.1.Modélisation de la structure :	53
III.3.2.Chargement de la structure :	54
III.3.3.Caractéristiques des matériaux :	54
III.3.3. 1. La résistance moyenne du béton :	54

III.3.3.2.La limite élastique des armatures :	54
III.4. Etude des structures :	54
III.4.1. Structure 1 :	54
III.4.1.1. longueur des travées entre axe :	54
III.4.1.2. Vérification de la régularité en plan :	54
III.4.2.Structure 2:	55
III.4.2.1. longueur des travées.....	55
III.4.2.2 Vérification de la régularité en plan :	55
III.4.3.Structure 3:	56
III.4.3.1. longueur des travées entre axe :	56
III.4.3.2 Vérification de la régularité en plan	58
III.4.4.Structure 4 :	58
III.4.4.1. longueur des travées entre axe	58
III.4.4.2 Vérification de la régularité en plan.....	59
III.4.5.Structure 5:	59
III.4.5.1. longueur des travées entre axes :	59
III.4.5.2Vérification de la régularité en plan :	60
III.5. Analyse statique non linéaire :	61
III.5.1.Définition d'une rotule plastique :	61
III.5.2.Longueur et positionnement des rotules plastique :	61
Chapitre IV : présentation des résultats	
IV .1 .Introduction :	64
IV .2. Etude des structures régulières :	64
IV.2.1. structure 1 :	64
IV.2.1.1 courbe de capacité :	64
IV.2.1.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :	65

IV.2.1.3 : Evaluation du point de performance de la structure 1:	67
IV.2.1.3.1 : Domaines des dommages :	67
IV.2.1.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :	67
IV.2.2. structure 2 :	68
IV.2.2.1. courbe de capacité :	68
IV.2.2.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :	69
IV.2.2.3 : Evaluation du point de performance de la structure 2:	71
IV.2.2.3.1 : Domaines des dommages :	71
IV.2.2.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :	71
IV.2. 3. Structure 3:	72
IV.2.3.1. courbe de capacité :	72
IV.1. 3.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :	73
IV.2.3.3 : Evaluation du point de performance de la structure 3:	74
IV.2.3.3.1 : Domaines des dommages :	74
IV.2.3.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :.	75
IV .3. Etude des structures irrégulières :	76
IV.3.1. structure 4 :	76
IV.3.1.1 courbe de capacité :	76
IV.3. 1.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :	78
IV.3.1.3 : Evaluation du point de performance de la structure 4:	79
IV.3.1.3.1 : Domaines des dommages :	79
IV.2.3.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :	79
IV.3.2. structure 5 :	80
IV.3.2.1 courbe de capacité :	80
IV.3. 2.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :	81
IV.3.2.3 : Evaluation du point de performance de la structure 5:	82
IV.3.2.3.1 : Domaines des dommages :	82
IV.3.2.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :	83
Conclusion générale.....	85

Résumé :

Le règlement parasismique algérien (RPA99 /V 2003), dans sa partie méthode statique équivalente est très restrictive en ce qui concerne son application. Trois conditions doivent être respectées pour que cette méthode soit applicable : Condition sur la hauteur, régularité en élévation et régularité en plan.

Dans le présent mémoire, le paramètre étudié est la longueur/ largeur qui représente la régularité en plan. Ce paramètre qui ne tient pas compte de la zone sismique d'implantation nous paraît très restrictif. Il devrait en principe évaluer en fonction de la zone sismique, pour répondre à cette question, une étude push over est entreprise sur un certain nombre de bâtiment ou le rapport L_x/L_y est évolutif afin de montre la performance sismique de ces bâtiments.

Mots clés :

Comportement sismique, élancement en plan, dommage sismique, zone sismique, méthode Pushover, point de performance.

Abstract:

Regulation Algerian earthquake (RPA99 / V 2003), in its part equivalent static method is very restrictive regarding its application. Three conditions must be met for this method to be applicable: Condition of height, consistency and regularity in elevation plan.

In this specification, the parameter of interest is the length / width representing the regularity in plan. This parameter, which ignores the seismic zone of implantation, seems to us very restrictive. It is expected to evaluate based on the seismic zone, to answer this question, a study is undertaken to push over a certain number of building or the ratio L_x / L_y is expandable to show the seismic performance of buildings.

Key words:

Seismic behavior, slenderness in plan, seismic damage, earthquake zone, Pushover method, point performance.

Introduction générale :

Les bâtiments conformes aux règles parasismiques ont rarement subi des dommages graves. Le respect des règles réduit considérablement le risque d'effondrement des constructions, sans toutefois le garantir. En effet, lors des séismes majeurs, il est arrivé que des bâtiments calculés selon des règles de la construction parasismique soient parfois sévèrement endommagés et peuvent même atteindre l'état de ruine.

Pour une bonne conception parasismiques ont doit se baser sur :

- 1 - un bon site d'implantation. D'après
- 2- Application des règlements parasismiques.
- 3- Exécution de qualité.

Les règlements parasismiques ont pour objet de garantir, la bonne tenue de ces ouvrages lorsqu'ils sont respectés.

Le règlement algérien dans sa partie méthode statique équivalente est très restrictive en ce qui concerne son application. Trois conditions doivent être respectées pour que cette méthode soit applicable.

1. Condition sur la hauteur.
2. Régularité en élévation.
3. Régularité en plan.

Dans cette étude le paramètre étudié est l'élançement, rapport longueur/ la largeur ≤ 4 qui est un paramètre de régularité en plan et sa quelle que soit la zone sismique.

Dans cette étude nous voulons montrer l'impact de la performance sismique sur ce facteur en utilisant la méthode de Pushover qui consiste essentiellement à comparer la demande à la capacité sismique. L'analyse structurale est assurée par le logiciel ETABS V 9.6. Cette méthode sera associée bien sûr à l'EMS 98 pour pouvoir estimer les dommages qui seront attendus pour des accélérations données.

Ce travail est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur le phénomène sismique, son impact sur les constructions, les formes des bâtiments et les joints sismiques.

Le second chapitre présente la méthode d'évaluation du point de performance.

Le troisième chapitre c'est pour la présentation des structures qui sont modélisées par le logiciel (ETABS).

Le dernier chapitre regroupe tous les résultats obtenus avec l'interprétation.

Enfin, la thèse se termine par une conclusion générale.

GENERALITES SUR LES SEISMES

I.1. Introduction :

Le mot séisme vient du grec seismos qui signifie « secousse ». C'est une série de secousses du sol, plus ou moins violentes, soudaines, imprévisibles et localisées. On parle également de tremblement de terre. Le plus souvent, un séisme se compose d'une ou plusieurs secousses principales et d'autres secousses, appelées répliques, surviennent au cours des mouvements des plaque tectoniques le long des lignes de fracture (failles) de la croûte terrestre (séismes tectoniques), soit par des montées de laves lors d'éruptions volcaniques (séismes volcaniques).

I.2. Cause des séismes :

I-2-1 Tectonique des plaques :

La compréhension du mécanisme responsable de l'activité sismique du globe terrestre est récente, puisque ce n'est qu'en 1968 que J. Morgan, D. McKenzie et X. Le Pichon ont formulé la théorie de la tectonique des plaques qui fournit un modèle cinématique cohérent des déformations de l'écorce terrestre. Le moteur de ces déformations est (**figure I.1**) l'expansion des fonds océaniques (proposée en 1960 par H. Hess après l'échec d'autres tentatives d'explication de la « dérive des continents », imaginée en 1915 par Wegener) ; cette expansion, qui peut atteindre 170 mm/an pour les dorsales les plus actives, pousse les unes contre les autres, les différentes plaques rigides (une douzaine au total, **figure I.1**) qui constituent l'écorce terrestre. Plusieurs types de mouvements peuvent résulter de ces affrontements entre plaques:

— la **subduction** : c'est-à-dire la plongée d'une plaque sous une autre ce qui permet de compenser l'augmentation de surface plaque Nazca sous l'Amérique du Sud, ou de la plaque Philippines sous l'Eurasie au niveau du Japon.

— le **décrochement** : c'est-à-dire le coulissage horizontal d'une plaque contre une autre, dont l'exemple le plus connu est la célèbre faille de San Andreas en Californie (contact entre les plaques Pacifique et Amérique du Nord) ;

— la **compression**, c'est-à-dire la collision frontale sans subduction qui se traduit par la formation de chaînes de montagnes, comme l'Himalaya, résultat de la collision des plaques Inde et Eurasie.

Ces mouvements relatifs entre plaques ne se font pas, en général, de manière progressive, mais par à-coups et chacun de ces à-coups constitue un séisme, plus ou moins intense suivant l'amplitude et la rapidité du mouvement, ainsi que l'étendue de la zone concernée. [1]



Figure I .1 : Mouvement des plaques tectoniques.

Cette théorie de la tectonique des plaques est maintenant bien établie et fournit une explication immédiate des séismes qui se produisent au voisinage des limites des plaques (**séismes interplaques**). Si ce type de séisme représente effectivement la plus grande partie de l'activité sismique, qui est donc concentrée dans certaines zones bien définies, nous observons aussi des séismes, moins nombreux mais pouvant être violents, à l'intérieur de certaines plaques. Cette sismicité interplaque, plus diffuse et plus difficile à prévoir, il résulte de l'état de contrainte qui règne à l'intérieur des plaques du fait de leurs interactions mutuelles ; l'hypothèse des plaques parfaitement rigides ne constitue en effet qu'une première approximation, et celles-ci sont en réalité susceptibles de subir des ruptures locales sous l'effet des champs de contraintes qui agissent sur elles.

I-2-2 Autres causes de séismes :

La quasi-totalité de l'activité sismique correspond aux séismes tectoniques ; ils existent cependant d'autres types de séismes, d'origine naturelle ou artificielle :

— **séismes volcaniques**, associés à la montée du magma, pendant les éruptions ces séismes sont généralement faibles et localisés au voisinage des volcans actifs.

— **séismes artificiels** résultant des explosions souterraines (tirs de carrières et de mines, essais nucléaires) ou de l'exploitation des mines.

— **séismes dits induits**, souvent associés à un apport massif d'eau dans les terrains (mise en eau d'un grand barrage ou injection à grande échelle dans le sol) ; ces séismes induits, dont on connaît quelques exemples, paraissent devoir être attribués à la diminution de résistance à la rupture des roches lors de l'infiltration d'eau dans leur réseau de microfractures. [2]

I.3. Caractéristiques principales :

Un séisme se caractérise par :

I.3.1.L'hypocentre ou foyer :

Le point d'origine d'un séisme, il peut se trouver entre la surface et jusqu'à sept cent kilomètres de profondeur (limite du manteau supérieur) pour les événements les plus profonds.

I.3.2.L'épicentre :

C'est le point situé, en surface, à la verticale du foyer ; il est donc le point le plus proche.

On distingue trois classes de séismes, en fonction de la profondeur du foyer :

a) les séismes superficielles : qui se produisent à une faible profondeur, soit dans les premières dizaines de kilomètre (<60km), et qui se trouvent autant aux frontières divergentes.

b) Les séismes intermédiaires : qui se produisent entre quelques dizaines de kilomètres

de profondeur (60 à 300km), et se concentrent uniquement au voisinage des limites convergentes.

c) Les séismes profonds : qui se produisent à des profondeurs pouvant atteindre les 700km, soit en pratique la base de l'asthénosphère, ce sont des séismes de grande intensité, ils surviennent au niveau des zones de subduction et se sont les plus destructeurs.

I.3.3.La magnitude (M) :

La puissance d'un tremblement de terre correspond à l'énergie libérée pendant ce séisme. La

puissance est exprimée grâce à une échelle des magnitudes créée par le géophysicien américain Charles Richter en 1935 : « **l'échelle de Richter** ». C'est l'échelle la plus utilisée par les géologues. Cette échelle donne 8.9 (degré9) pour les grands tremblements de terre.

$$M = \text{Log}A + C \text{Log}\Delta + D \quad (I.1)$$

Avec :

A : amplitude maximale.

C, D : coefficient de stations.

Δ : distance entre deux stations.

De part sa magnitude M (échelle de Richter), c'est une évaluation de la quantité d'énergie libérée au niveau du foyer du tremblement de terre. Cette échelle, définie en 1935,

est basée sur le principe d'enregistrement des mouvements du sol effectué en un certain nombre de points d'observations situés à des distances quelconques de l'épicentre. A partir d'une étude statistique, nous avons établi une corrélation entre l'énergie libérée par un séisme et la magnitude. [3]

Magnitude	Energie en J
1	
2	$\sim 10^3$
3	$\sim 10^6$

4	$\sim 10^9$
5	$\sim 10^{10}$
6	$\sim 10^{13}$
7	$\sim 10^{15}$
8	$\sim 10^{17}$
9	Sup à 10^{18}

Tableau I.1 : Energie libérée pour les différentes magnitudes de Richter.

I.3.4.L'intensité (I) :

L'intensité d'un séisme est estimée à partir des effets visibles (dégâts) produits à la surface (mouvements d'objets suspendus, fissures dans les maisons, etc.). Plusieurs échelles de mesure existent. La plus connue est l'**échelle modifiée de Mercalli** (appelée échelle MSK

depuis sa révision en 1964) qui comprend 12 degrés depuis le I (vibrations ressenties uniquement par les instruments), jusqu'au XII (dévastation totale) [3] .

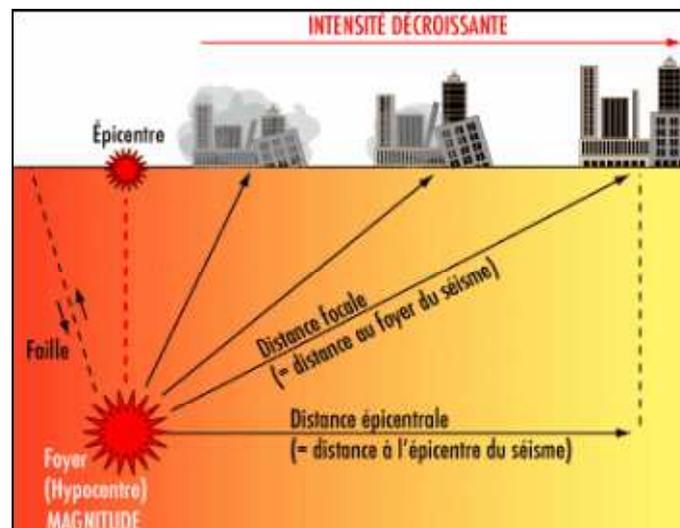


Figure I.2 : Caractéristiques d'un séisme.

Intensité	Dégâts Matériels
Degré I	secousse imperceptible par l'homme, inscrite seulement par les sismographes.
Degré II	secousse ressentie par un petit nombre de personne, surtout par ceux situés aux étages supérieurs des maisons.
Degré III	secousse faible ressentie par un certain nombre d'habitants, comme le serait l'ébranlement produit par une voiture lancée à grande vitesse; la direction et la durée de la secousse peuvent parfois être appréciées.
Degré IV	ébranlement constaté par quelques personnes en plein air, mais beaucoup à l'intérieur des maisons; vibration de vaisselle, craquement de planchers et des plafonds.
Degré V	ébranlement constaté par toute la population; réveil des dormeurs; ébranlement démeubles et de lits.
Degré VI	des personnes effrayées sortent des habitations; tintement général des sonnettes, arrêt des pendules, crépis fendillés, vaisselle brisée, cloches mises en branle, chute de plâtras.
Degré VII	maisons légèrement endommagées, lézardes dans les murs, chutes de cheminées isolées en mauvais état; écroulement de minarets, de mosquées ou d'églises mal construites.
Degré VIII	sérieux dommages, fentes béantes dans les murs, chute de la plupart des cheminées, des clochers; renversement ou rotation des statues, des monuments funéraires; fissures dans les pentes raides ou dans les terrains humides; chutes de rochers en montagne.
Degré IX	de solides maisons en construction européenne sont sérieusement endommagées, un grand nombre, rendues inhabitables; d'autres s'écroulent plus ou moins complètement.
Degré X	la plupart des bâtiments en pierre et en charpente sont détruits avec leur fondations; fentes dans les murs en briques; rails de chemins de fer légèrement recourbés; dommages aux ponts; tuyaux de conduites brisés, fentes et plis ondulés dans les rues; éboulements; l'eau des rivières et des lacs est projetée sur le rivage
Degré XI	destruction totale des bâtiments en pierre, des ponts des digues; larges déchirures et crevasses dans le sol; grands éboulements de terrain
Degré XII	rien ne demeure plus des œuvres humaines; changement dans la topographie; formations de grandes failles, dislocations horizontales et cisaillement du sol; rivières détournées de leur cours.

Tableau I.2 : Echelle d'intensité de Mercalli.

I.4. Type d'ondes sismiques :

I.4.1. Ondes primaires « P » :

Les ondes P ou ondes primaires sont des ondes de compression (ou longitudinales) : elles compressent puis dilatent successivement le sol, parallèlement à la direction de leur propagation (Figure I.3).

Ce sont les ondes les plus rapides pouvant atteindre jusqu'à 14km/s. On les enregistre bien sur la composante verticale du sismologue.

Onde P (compression)

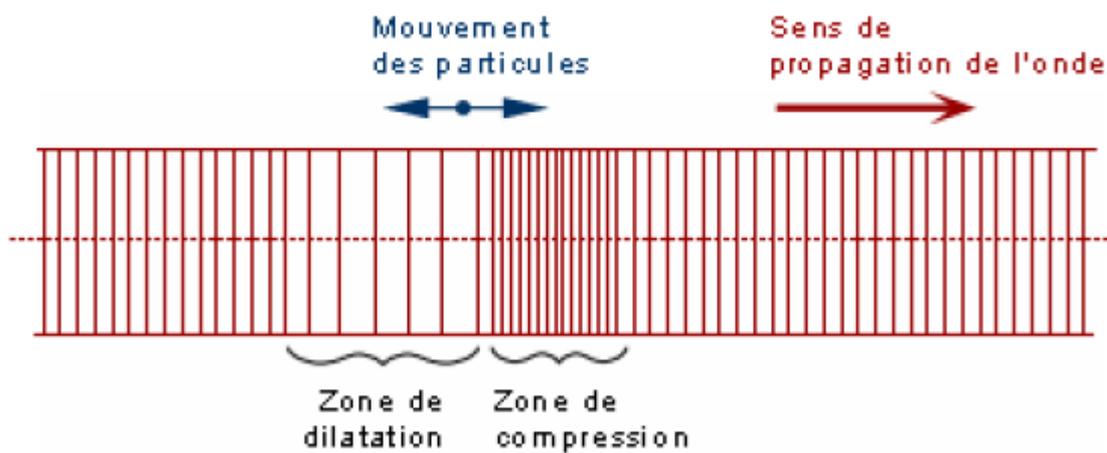


Figure I. 3 : Onde de type P.

I.4.2. Ondes transversales « S » :

Les ondes S, ou ondes secondaires sont des ondes de cisaillement (ou transversales). Les vibrations s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde avec une vitesse de 4 à 5 km/s. Plus lentes que les ondes P, elles apparaissent en second sur les sismogrammes. (Figure I. 4).

Onde S (cisaillement)

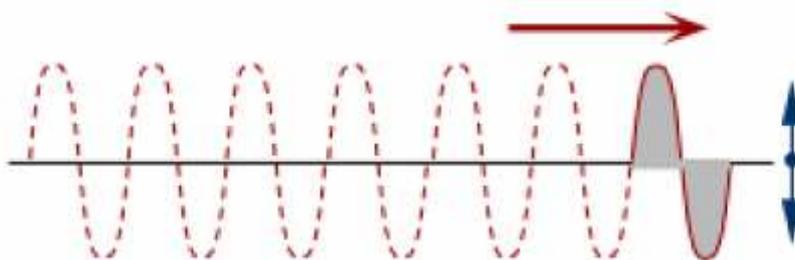


Figure I.4 : Onde de type S.

I.4.3. Ondes de surface :

Se sont des ondes de volume qui arrivent à la surface de la terre produisant des ondes de surface affectant le sol sur une profondeur extrêmement faible. On distingue à ce niveau deux types d'ondes :

I.4.3.1. Ondes de Rayleigh ou ondes R :

Elles sont assimilables à une vague ; les particules du sol se déplacent selon une ellipse dans le plan vertical de propagation et entraînent des compressions ou des tractions, ainsi que des cisaillements dans le sol. (Figure I. 5).

Onde de Rayleigh

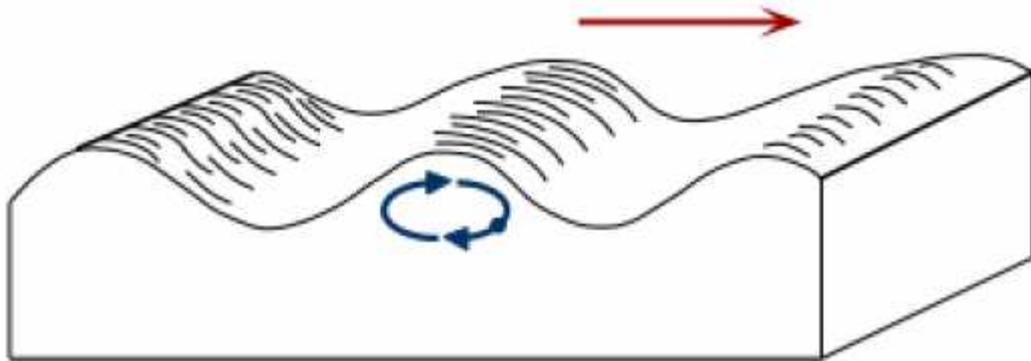


Figure I. 5 : Onde de Rayleigh.

I.4.3.2. Ondes de Love :

Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol se déplacent dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation ; elles n'engendrent que des contraintes de cisaillement. Elles impriment au sol un mouvement de vibration latéral. (Figure I. 6) [4]

Onde L (de Love) (cisaillement)



Figure I. 6 : Ondes de surface (l'onde de love)

I.5.Enregistrement des séismes:

Nous mesurons les ondes sismiques à l'aide d'appareils appelés : sismographe. Le principe est basé sur un appareil capable de sentir les vibrations ; ces vibrations sont transmises à une aiguille qui les inscrit sur cylindre qui tourne à une vitesse constante. Donc, les sismographes enregistrent, sous forme de sismogrammes, les vibrations du sol provoquées par les ondes sismiques. L'amplitude de ces vibrations en un point ainsi que distance de ce point à l'épicentre permettent de calculer la magnitude du séisme, c'est-à-dire sa puissance.

1.6 .Action sismique :

Le mouvement sismique (ou action sismique) peut se décomposer en la somme d'une composante horizontale (suivant deux directions principales H_x et H_y) et d'une composante verticale V_z (**Figure I.7**). Il est utile de savoir que la composante verticale est, à l'aplomb de l'épicentre, égale à la composante horizontale.

Plus nous nous éloignons de cette épicentre, plus la composante verticale est moins importante par rapport à la composante horizontale, elle perd environ 50 à 70% de son influence. L'importance du mouvement vertical est souvent négligeable, car moins dommageable, que le mouvement horizontal. D'autant plus, du fait, que les structures soient réalisées pour supporter leur poids propre, cette composante verticale est moins importante, alors que la composante horizontale, elle, sera préférée pour dimensionner les structures à la résistance aux efforts horizontaux. [5]

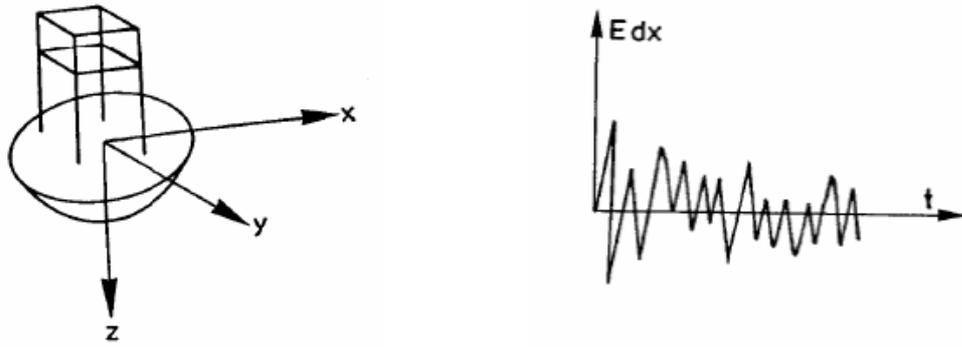


Figure I.7 : Décomposition de l'action sismique.

I.7. Sismicité en Algérie :

L'Algérie du Nord est frappée régulièrement par des séismes parfois importants mais souvent modérés à faibles. Les séismes modérés à fort génèrent bien souvent des catastrophes

(El Asnam, 10.10.1980, Boumerdes, 21.05.2003) difficiles à surmonter car notre pays, à l'instar de beaucoup d'autres, reste encore mal préparé pour affronter de tels catastrophes.

S'il est vrai qu'avant la catastrophe d'El Asnam (10 octobre 1980, $M=7.3$), peu de choses était connue de la sismicité algérienne, les leçons données par ce séisme furent multiples et eurent un impact important. Ce séisme a permis de démontrer scientifiquement que de violents séismes pouvaient se produire en Algérie du Nord, que cette région subissait le rapprochement de la plaque européenne, qu'il fallait renforcer la surveillance sismique du territoire, qu'il fallait se munir de normes de construction parasismiques, qu'il fallait à tout prix se doter d'un plan de réduction du risque.

Aujourd'hui, grâce au réseau de surveillance sismique nationale ainsi que tous les travaux scientifiques qui ont été réalisés ou qui sont actuellement en cours, alors que beaucoup d'efforts restent à faire, des réponses à plusieurs interrogations concernant les caractéristiques de la sismicité peuvent être apportées. Ces réponses sont d'une extrême importance pour un meilleur aménagement du territoire et pour la réduction du risque sismique dans notre pays. **(Figure I.8). [6]**

Carte de la Sismicite du Nord algerien

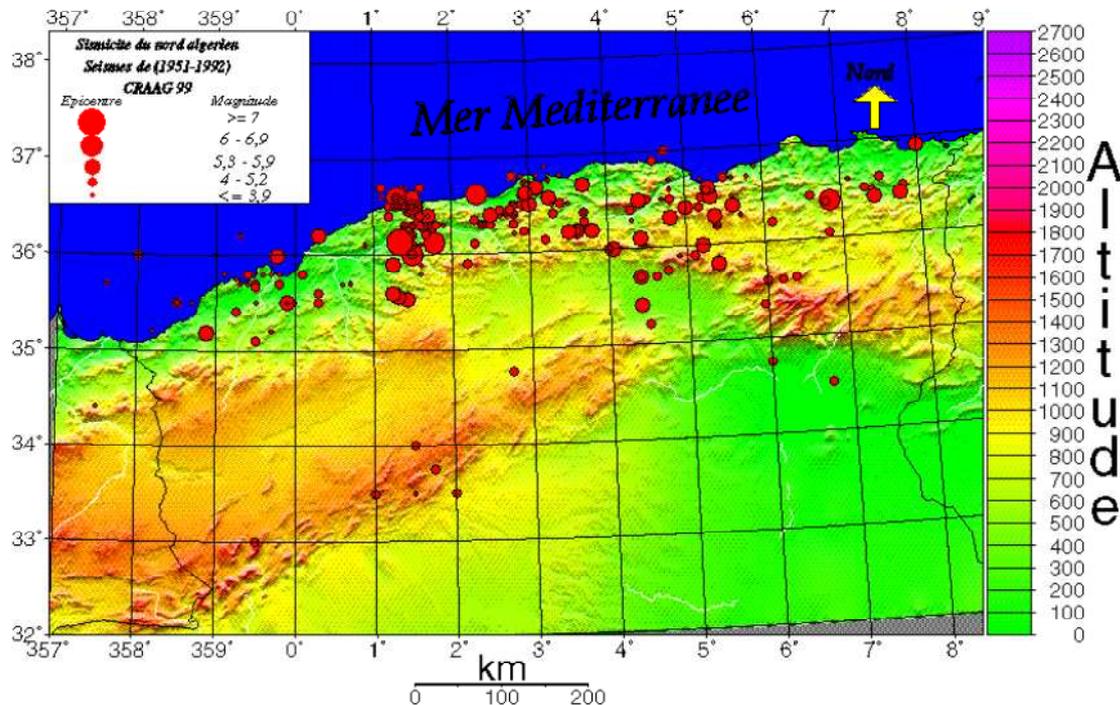


Figure I.8 : carte de la sismicité de nord algerien.

I.8. Classification des zones sismiques :

D'après l'amélioration du RPA, Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et qui précise cette répartition par wilaya et par commune, [7] soit :

- ✓ Zone 0 : Sismicité négligeable.
- ✓ Zone I : Sismicité faible.
- ✓ Zone IIa et IIb : Sismicité moyenne
- ✓ Zone III : Sismicité élevée.

Elle se définit comme la possibilité d'une structure de souffrir des dégâts dans le cas où elle serait soumise à l'action d'un séisme. Généralement, lorsqu'on parle de vulnérabilité, on fait référence aux structures, puisque celles-ci transmettent les effets du séisme à tous les autres éléments que peuvent être les personnes ou les biens matériels qui y sont contenus.

Séisme principale en Algérie :

Lieu	Date	M	Victimes
Alger	03.01.1365		Plusieurs
Alger	10.03.1673		
Mitidja	03.02.1716		20 000
Oran	09.10.1790		2000
Blida	02.03.1825		7000
Jijel	22.08.1856		
Autres	16.11.1869		30
Gouraya	15.01.1891		38
Orleansville	09.09.1954	6.7	1243
El Asnam	10.10.1980	7.3	2633
Constantine	27.10.1985	5.9	10
Tipaza	29.10.1989	6.0	22
Mascara	18.08.1994	5.7	175
Alger	04.09.1996	5.7	
Temouchent	22.12.1999	5.7	25
B. Ouartilane	10.11.2000	5.4	04
Boumerdes	21 .05.2003	6.8	2300

Tableau I.3 : Principaux séismes d'Algérie (1365-2001).

I.9. Les séismes et la réponse de la construction :

Lors d'un séisme, c'est le sol qui est moteur. Les sollicitations mécaniques que le séisme engendre sont diverses et il est certain qu'une bonne connaissance de son action permettrait de mieux construire.

Les séismes se manifestent à la surface du sol par un mouvement de va-et-vient. (Figure I.9). Le mouvement est caractérisé par le déplacement et l'accélération du sol. Les constructions sont liées au sol au moins par leurs fondations, éventuellement par leurs parties enterrées (sous-sol). Les éléments de construction solidaires du sol suivent ces déplacements; du fait de leur masse, par inertie les parties présentes en élévation ne suivent pas instantanément le mouvement et il s'ensuit une déformation de la structure.

Si les constructions ont été conçues et réalisées suivant les règles de l'art en zone sismique, elles passeront par leur position initiale et se mettront à osciller. Au cours du mouvement, le bâtiment parasismique doit réagir dans un temps très court (quelques

dizaines de secondes) sans dommage majeur. La rupture survient si le bâtiment n'a pas été conçu pour résister à ces mouvements. [8]

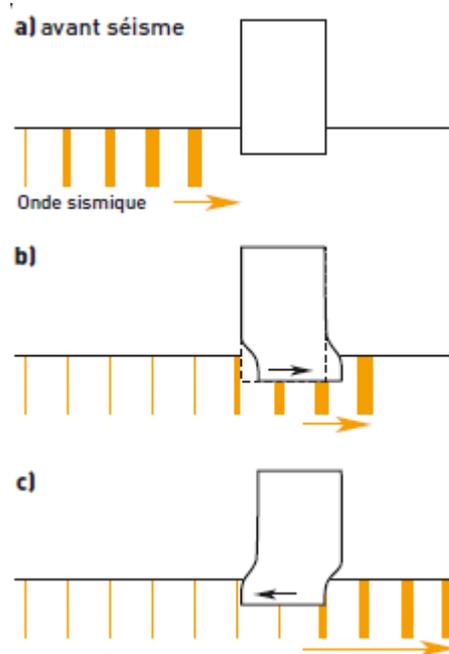


Figure I. 9 : Comportement d'un bâtiment lors d'un séisme.

I.10. effet de séisme sur site :

Il est d'abord important de souligner que ce ne sont pas les séismes qui tuent, mais les bâtiments qui s'écroulent sur leurs habitants. On pense généralement que la qualité de la construction dans nos pays nous évitera les conséquences catastrophiques que l'on voit ailleurs. Malheureusement ce n'est pas le cas.

Les dégâts qui se retrouvent inmanquablement lors de chaque catastrophe sismique peuvent être classés dans l'une des catégories suivantes:

I.11. Effet directs :

Il s'agit d'une amplification des ondes sismiques liée directement à la configuration topographique ou géologique du site (déformation du terrain naturel). Les manifestations en surface associées au fonctionnement d'une faille. Ces effets à leurs tours, peuvent entraîner des changements dans les conditions hydrauliques du site (modification de la

circulation des eaux souterraines, disparition de quelques sources, changement de leur température, etc) [9].

I.11.1 Effet de site topographique :

Les constructions implantées sur ce type de relief pourront subir une action sismique beaucoup plus importante que sur un site voisin non accidenté s'il y a concordance des fréquences du sol et bâtiment [4], (**figure I.10**).



Figure I.10 : Séisme de Lambesc, 1909.

Destruction des constructions situées sur la butte de Rognes par effet de site.

I.11.2. Effet de site sur le sol meuble (les sols alluvions de forte épaisseur amplifient l'action sismique) :

La réflexion des ondes sismiques " prisonnières " à l'intérieur d'une couche de sol meuble entre la surface et le substratum rocheux a pour conséquence d'amplifier certaines composantes des secousses sismiques qui y parviennent (en fonction de la période propre du système qui dépend de la nature physique du sol et de sa géométrie). Ces composantes peuvent être très sous-estimées par les spectres des sols S3 de la réglementation (**Figure I.11**).



Figure I.11 : Séisme mexico 1985.

Le bâtiment du premier plan, dont les périodes propres d'oscillation (courtes) ne sont pas entrées en résonance avec le sol, n'a pas subi de dommages bien qu'il soit apparemment très vulnérable. A l'arrière plan on remarque un immeuble plus élancé qui a subi des dommages importants bien qu'étant vraisemblablement " mieux construit ". Il a répondu au séisme par des accélérations et des déformations importantes de sa structure en raison d'une mise en résonance.

I.12. Effets enduits :

I.12.1. Glissement des terrains :

Sous l'effet des secousses, tout ce qui se trouve en situation d'instabilité sur les versants glisse vers l'aval : la terre, les roches, et les bâtiments sur les sols instables. Il n'y a pas de solution constructive sauf pour les petites pentes qui souvent avoir un soutènement. Ce n'est plus une question de résistance du bâtiment (**Figure I. 12**).



Figure I.12 : Séisme de Kobé, 1995.

Glissement de terrain ayant entraîné la perte totale d'un bâtiment " parasismique " situé en bord de talus instable.

I.12.2. Tassement :

Des tassements importants peuvent être la conséquence de séisme. Un sable sec soumis à des vibrations fortes peut donner lieu à des tassements de terrain. Ces tassements peuvent être estimés par la mesure des vides du sable sec, ils peuvent atteindre une dizaine de centimètres et être fortement préjudiciables pour tout type de construction.

I.12.3.Liquéfaction :

La liquéfaction du sol ou la perte de portance du sous sol de fondation sont des phénomènes qui peuvent provoquer dans certains cas des dégâts sismiques à une large échelle. Une couche de terrains meubles en surface peut amplifier de manière très significative les secousses sismiques (effet de site). Mais, en plus, s'il s'agit de sable fins ou de limons peu compacts et saturés en eau le phénomène de liquéfaction peut apparaître induisant un comportement momentanément semblable à celui d'un liquide [10].

La meilleure solution consiste à les éviter en construisant ailleurs. Si ce n'est pas possible, une fondation sur des pieux traversant la couche sensible pour s'appuyer sur un sol de meilleure qualité (**Figure I.13**).



Figure I.13: Séisme d'Izmit 1999.

Ce bâtiment sur radier s'est enfoncé dans le sol de façon non symétrique. Lorsque le centre de gravité est sorti de la base il a basculé. Son encastrement dans le sol a stoppé sa course. Il faut noter qu'il n'est pas disloqué et que ses vitrages sont intacts : Les ondes S qui déforment la construction ne se propagent pas en milieu liquide.

Ce sont les ondes P, ondes de compression qui génèrent le phénomène de liquéfaction.

I.13. L'effet du séisme sur les constructions :

Les effets d'un tremblement de terre sur un ouvrage sont essentiellement déterminés par les variations temporelles de trois paramètres essentiels décrivant le mouvement du sol, soit son accélération (a_g), sa vitesse (v_g) et son déplacement (d_g), avec leur contenu fréquentiel.

Lorsque le sol oscille rapidement, les fondations sont entraînées dans le mouvement, tandis que la partie supérieure tend, du fait de son inertie, à rester là où elle se trouve. Ce phénomène occasionne d'importantes vibrations et des phénomènes similaires à la résonance entre l'ouvrage et le sol, d'où l'apparition de fortes sollicitations internes. Il en résulte fréquemment des déformations plastiques de la structure porteuse, qui peut subir d'importants dégâts et céder localement, voire s'effondrer totalement dans le pire de cas.

C'est pourquoi il convient de concevoir les constructions de façon à couvrir des incertitudes et des variations considérables.

I.13.1. Effet des oscillations horizontales sur les constructions :

La rigidité latérale des bâtiments est plus faible que la rigidité verticale, leurs oscillations horizontales sont en général les plus dangereuses. Ils subissent des translations, des balancements et des déformations d'ensembles, qui se répercutent sur les divers éléments constructives [10].

I.13.1.1. Dommage dus aux cisaillements :

Le cisaillement produit, généralement, des fissures en croix dans les murs en maçonnerie ou dans les panneaux de remplissages de portique (**Figure I.14**), de même ce genre de fissures peut être observé aux angles des portes et de fenêtres. Les poteaux courts sont souvent endommagés par cisaillement à cause de leur rigidité.

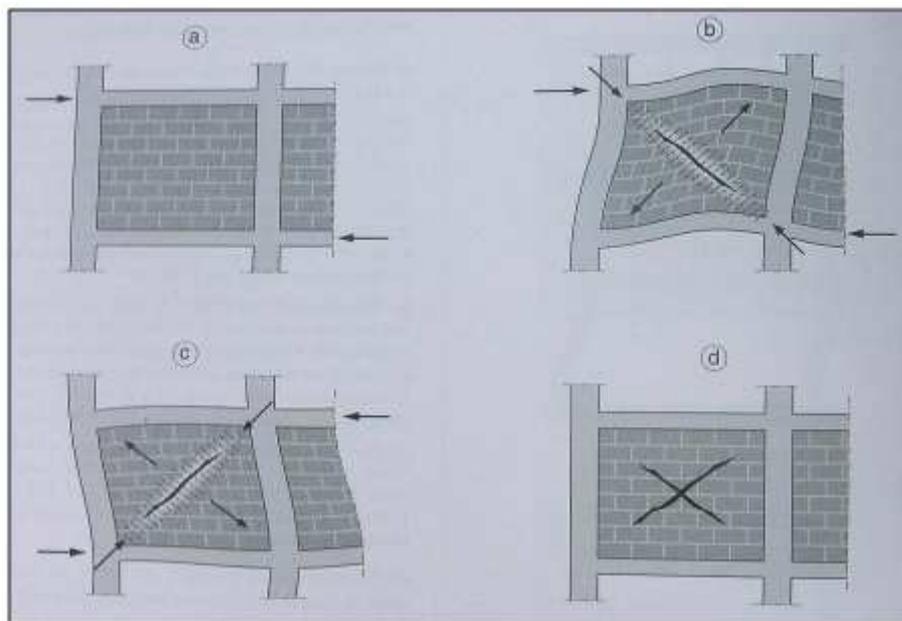


Figure I.14 : Rupture en diagonale Produite par cisaillement.

I.13.1.2. Déformation de flexion d'ensemble :

La flexion produit des déformations engendrant des fissures dans les éléments tendus et le flambement ou l'écrasement des éléments comprimés. Les poteaux peuvent être délestés (baisse de résistance au cisaillement) sur la partie tendue, il peut se produire, également, des dommages sur les éléments non structuraux (par exemple les panneaux de façades). Les effets de flexion sont les plus importants dans le cas des bâtiments élancés (**Figure I.15**).

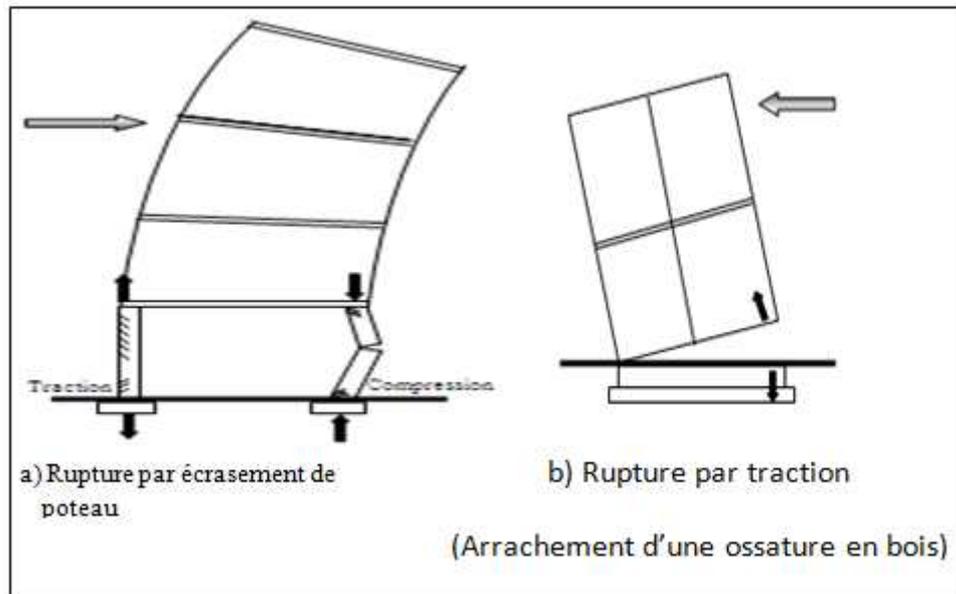


Figure I. 15 : Flexion d'un bâtiment sous charges sismiques.

I.13.1.3. Effet P-Delta :

L'excentricité des charges verticale, due aux déplacements relatifs des étages, provoque dans les murs et poteaux des efforts axiaux additionnels, ce phénomène est appelé P-Delta. [11] (Figure I. 16).

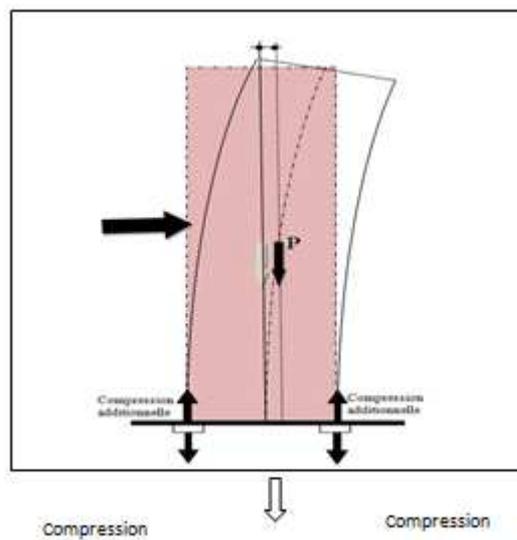


Figure I.16 : Effet P-Delta.

I.13.1.4. Balancement des constructions :

Le balancement des constructions provoque des déformations inélastiques des sols réduisant ainsi leurs résistances, ils peuvent également avoir comme conséquences une inclinaison rémanente des ouvrages.

I.14.1. Effets des oscillations verticales sur les constructions :

Les oscillations verticales des constructions entraînent :

- ✓ Des oscillations dangereuses des éléments horizontaux de grande portée (tels que les poutres, les portes à faux, les consoles, etc.) et la concentration de contraintes sévères dans les éléments qui supportent.
- ✓ Le délestage des éléments.
- ✓ Un arrachement des éléments insuffisamment fixés et projections éventuelle des équipements posés si l'accélération des secousses est supérieure à celle de la pesanteur. Ainsi que le flambement des poteaux élancés (**Figure I. 17**).

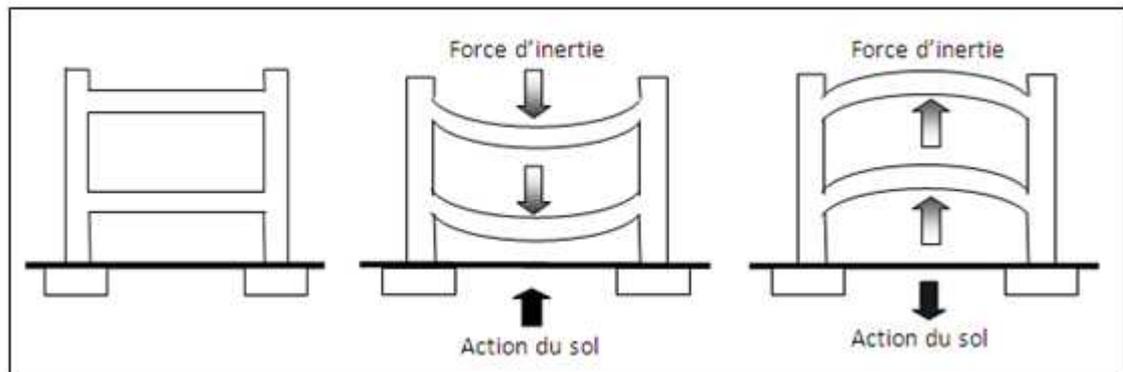


Figure I.17 : Oscillations verticales des constructions.

I.14.2 : Effets des oscillations horizontales :

La rigidité latérale du bâtiment est plus faible que la rigidité verticale, leurs oscillations horizontales sont en général les plus dangereuses. Ils subissent des translations, des balancements et de déformations d'ensembles, qui se répercutent sur les divers éléments constructives (**Figure I.18**).



Figure I. 18 : Oscillations horizontales.

I.14.3. Effets des oscillations de torsion sur les constructions :

La torsion se produit principalement dans le cas où le centre de gravité d'un niveau ne coïncide pas avec son centre de rigidité. Les effets de torsion sont importants dans le cas des bâtiments de forme irrégulière ou possédant un contreventement excentré.

Lors d'un séisme, on peut envisager deux types de torsions qui se présentent :

I.14.3.1. Torsion structurelle :

Elle est due à l'asymétrie des éléments latéralement rigides (**Figure I.19**).

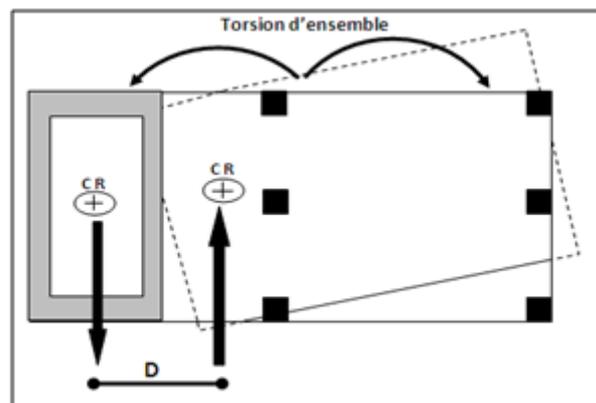


Figure I. 19: Torsion d'ensemble due à l'asymétrie des éléments latéralement rigides.

I.14.3.2. Torsion accidentelle :

Elle est due au décalage entre les lignes d'actions et des réactions et qui est engendrée par :

- ✓ Des mouvements différentiels (horizontaux) du sol.
- ✓ La présence des charges temporaires (dans le cas des salles de cinémas, de théâtres, de conférences, etc.) ou le centre de masses change avec l'occupation des personnes.

- ✓ La modification des cloisons notamment s'ils sont rigides.
- ✓ La défaillance progressive des éléments constructifs.

La torsion d'ensemble entraîne la concentration des efforts sur les angles de bâtiments les plus éloignés du centre de torsion (**Figure I. 20**) [12].

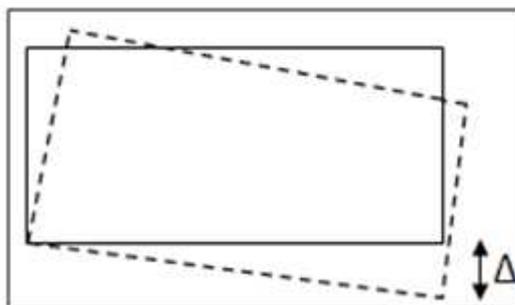


Figure I. 20 : Torsion accidentelle.

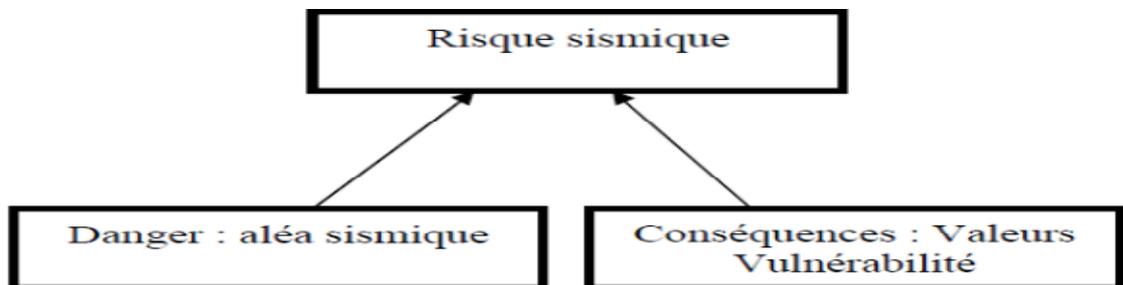
I.15. Vulnérabilité sismique des Bâtiments :

L'efficacité d'un plan d'urgence ou de réponse à un séisme vient du fait que les bâtiments puissent être capables de résister à un effondrement en cas de secousse. En ce sens, le risque sismique dans une certaine zone est lié au comportement des structures. En général, le risque sismique se caractérise par sa variation dans le temps, il est fonction non seulement de la zone de sismicité mais aussi de la densité de la population, du niveau du développement économique et des moyens mis en œuvre pour résister à une crise post-sismique. Naturellement, la catastrophe sera d'autant plus grande que le séisme soit plus ou moins proche d'un centre urbain, ou bien que son intensité soit plus ou moins importante, tout comme la densité de la population et le niveau social de la ville. Cela représente donc plusieurs facteurs à considérer.

Les mesures de prévention contre les effets d'un possible désastre sismique doivent être prises en considération de la part des collectivités territoriales ou locales. Ces mesures auraient pour objectif la réduction du risque sismique, et empêcher un impact négatif qu'aurait un tremblement de terre sur le développement économique.

Tous les centres urbains situés dans des zones de sismicité importante sont sujets à de tels risques en cas d'un séisme. La connaissance de ces risques est primordiale à l'heure d'établir un plan d'urgence. C'est pourquoi la vulnérabilité sismique des bâtiments existants joue un rôle important puisque c'est à partir de cette étude que des mesures et un plan d'urgence pourraient être établis. Une étude de la vulnérabilité sismique des bâtiments doit permettre l'évaluation de la

vulnérabilité intrinsèque de la résistance des bâtiments mais aussi doit permettre d'estimer l'impact qu'aurait la dégradation de tel ou tel bâtiment si celui-ci fait parti des bâtiments dits « stratégiques ».



La vulnérabilité représente le comportement intrinsèque de la structure vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un séisme. Pour mesurer les dégâts possibles que pourraient affecter les bâtiments en cas de séismes une échelle serait de considérer des dommages variables :

0 pour un dommage nul

1 pour la destruction complète de la structure.

I.15.1. Les facteurs de vulnérabilité :

L'observation des dégâts subits par les structures lors des séismes, a permis d'identifier les principaux paramètres influençant la vulnérabilité des structures. Ces facteurs sont les suivants :

- Le type de construction, en premier lieu le matériau de construction mais également le type de contreventement
- La hauteur (un nombre d'étage entre 3 et 8 étages est généralement critique)
- Une irrégularité verticale de la stabilisation, par exemple un étage souple au niveau du rez-de-chaussée.
- Une irrégularité en plan
- Le sol et les fondations (amplification dans les sols mous et liquéfaction)
- L'exécution (qualité des détails constructifs et normes en vigueur lors de la construction).
- L'état des bâtiments (ses dégradations éventuelles) [15].

I.16 .Incidence de la forme des bâtiments sur leur comportement :

La forme des bâtiments et la répartition des différents éléments qui les constituent ont un indice important sur le comportement sous charges sismiques.

Le concepteur devrait rechercher la simplicité et une bonne régularité dans les formes, dans la répartition des masses et des éléments apportant une rigidité, de manière à limiter l'amplitude des déformations provoquées par les secousses et la concentration d'efforts sur certains éléments structuraux.

Lors d'un séisme, cette régularité sera un facteur déterminant de bon comportement, permettant aux différentes parties du bâtiment d'osciller en place. Les oscillations différentielles sont une source de dommages structuraux et non structuraux. En outre, un bâtiment de forme très irrégulière entraîne un coût de protection parasismique élevé, tout en donnant lieu à un comportement peu favorable à la résistance aux séismes.

Aux paragraphes suivants sont proposées des solutions permettant d'améliorer le comportement dynamique des bâtiments, tout en conservant une configuration d'apparence irrégulière [13].

I.17 .Forme en plan :

A- symétrie en plan :

Les bâtiments exposés à une torsion d'axe vertical lors des séismes peuvent subir de graves dommages. La forme des bâtiments peut être à l'origine d'une torsion lorsqu'elle conduit à des dimensions horizontales (profondeurs) différentes au sein d'un même bâtiment. Les parties du bâtiment ayant une profondeur plus faible que les parties voisines se déforment davantage sous l'action des forces horizontales et vrillent autour des zones plus rigides. (**Figure I. 21**).

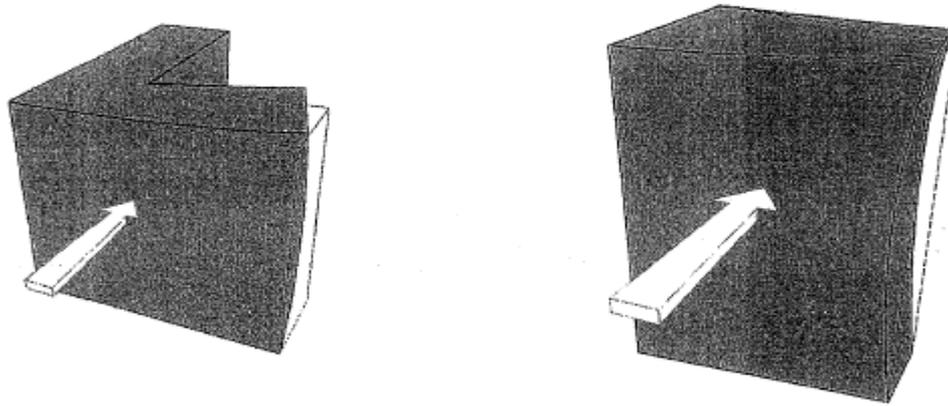


Figure I. 21 : Torsions d'ensemble.

La torsion d'axe vertical peut être réduite en rigidifiant les zones <flexibles> (par des voiles en béton par exemple), ou en optant pour une symétrie du plan selon deux axes ou plus (**figure I. 22**).



Figure I.22 : Formes favorables, plans simples ayant au moins 2 axes de symétrie.

B -Simplicité du plan :

Les bâtiments comportant des angles rentrants (hormis ceux qui résultent de la modénature des façades) sont considérés comme irréguliers (**figure I.23**). Ces angles sont à la jonction de deux parties ayant des rigidités différentes dans une même direction horizontale. La différence des rigidités induit des oscillations différentielles entraînant

des concentrations de contraintes, qui sont le siège de dommages (**figure I. 24**). Afin de remédier à cette situation, trois démarches sont possibles :

- ✓ Opter pour des formes ne comportant pas d'angles rentrants (**figure I.22**) ;
- ✓ Simplifier la forme en plan (figure 23b) ;
- ✓ Fractionner le bâtiment en volumes simples par des joints parasismiques (figure 23a). toutefois, le cout de ces joints est élève et ils ne constituent qu'un remède à une situation peu favorable. Pour les bâtiments élèves, la largeur requise pour les joints devient important car les blocs adjacents ne doivent pas s'entrechoquer. Dans ce cas, il vaut mieux opter pour des solutions qui ne nécessitent pas de joints [13].

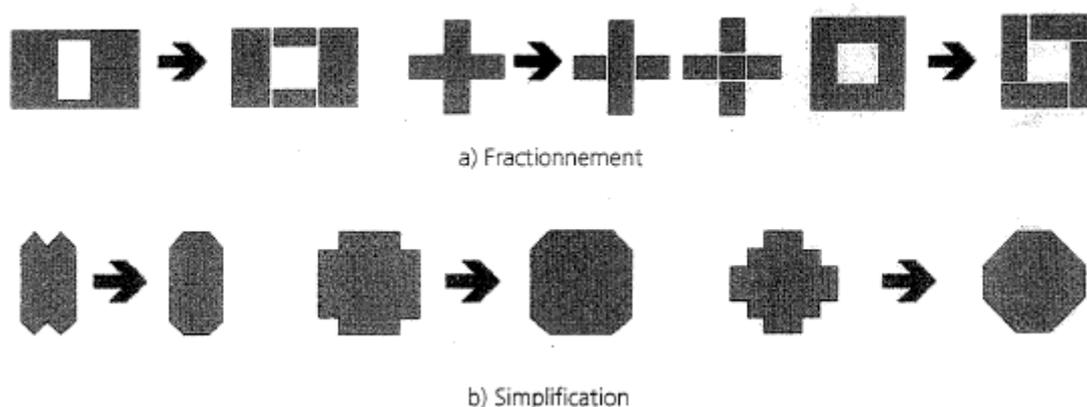


Figure I. 23 : Diverses solutions pour remédier au problème des angles rentrant.

I.16.2.Caractéristiques des joints parasismiques :

Les joints doivent être :

- ✓ Vides de tous matériaux ; cette disposition peut entraîner des difficultés d'exécution ;
- ✓ Suffisamment larges pour éviter tout entrechoquement les blocs adjacents sous charge sismique de calcul, avec un minimum de 4cm en zones Ia, Ib, et de 6cm en zones II, III du zonage sismique de la France (décret du 14mai 1991) ;

✓ Rectilignes, sans décrochement.

Il est à noter que tous les joints de gros œuvre (joints de dilatation ou de tassement) doivent respecter ces caractéristiques.

Les bâtiments ne présentant pas d'angles (forme générale arrondie) montrent le plus souvent un excellent comportement sous séisme si toutefois ils ne comportent pas d'ouvrages en maçonnerie traditionnelle (briques, bloc de béton,...).

Ces derniers sont sujets, sous l'action sismique, à un éclatement hors plan.



Figure I.24 : dommages sismiques occasionnes aux bâtiments comportant des ailes.

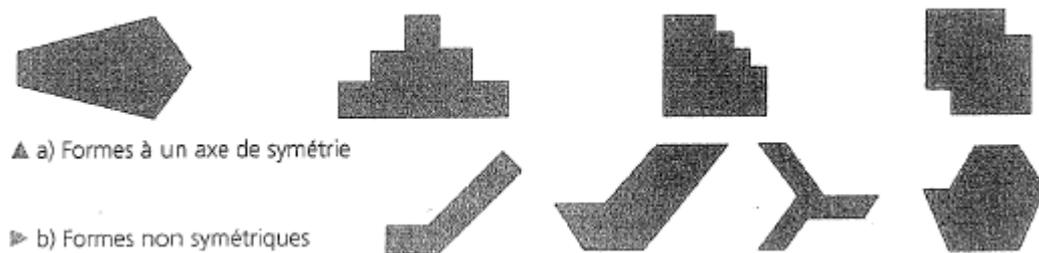


Figure I.25 : Formes défavorables.

Les formes non symétriques sont défavorables car leur résistance à la torsion selon un axe vertical est largement inférieure à celle des bâtiments de forme compacte et symétrique.

I.16.3. Rapport longueur /largeur en plan :

Pendant un séisme, le sol ne déforme pas d'une façon uniforme d'un point à l'autre. En plus des mouvements d'ensemble, on observe des déplacements différentiels. Sur une grande distance, ces déplacements peuvent être notables et soumettre les ouvrages à des sollicitations supplémentaires qui favorisent l'apparition de dommages.

Il est donc souhaitable de ne pas dépasser le rapport de $L/l < 4$ entre la longueur et la largeur du bâtiment ou de fractionner le bâtiment par des joints parasismiques (**figure I.22. et I.26**).

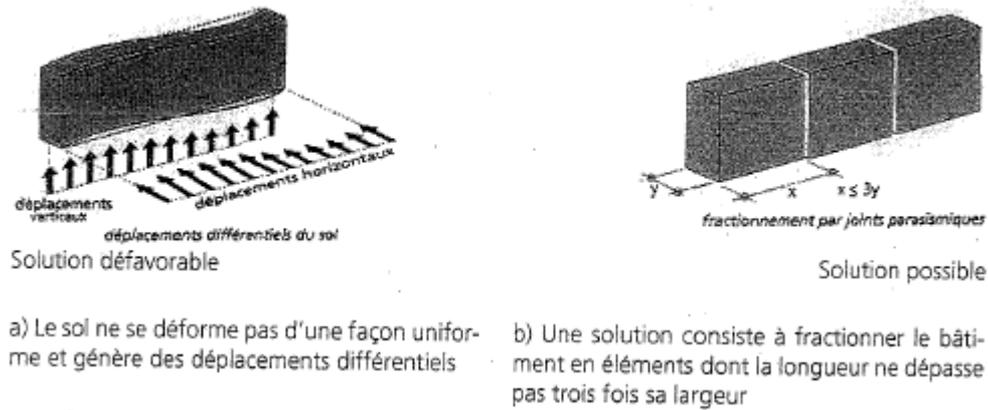


Figure I.26 : bâtiment de grande longueur.

I.16.4. Forme en élévation :

A Symétrie et simplicité des formes en élévation :

Les formes irrégulières en élévation donnent lieu à des oscillations différentielles.

Les parties de bâtiment de volume ou de hauteur distincts vont osciller selon des fréquences différents et les éléments qui les associent pourront être soumis à des efforts de sens contraire, qui les associent pourront être soumis à des efforts de sens contraire, qui sont souvent à l'origine de dommages graves (**figure I.27**) En effet, les oscillation différentielles entraînent des concentrations de contraintes en pied des retraits (angles rentrants) d'autant plus grandes que le retrait est important. L'inconvénient des retraits peut être réduit en optant pour une variation progressive des dimensions ou par des joints parasismiques lorsqu'ils sont envisageables (possible) (**figure I.28**) [13].



Figure I.27 : dommage dus à la présence de niveaux en retrait.

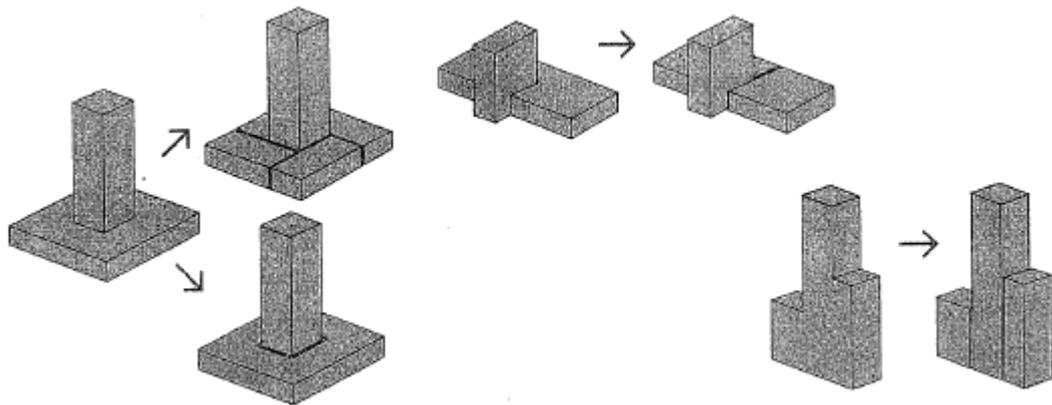


Figure I. 28 : différentes possibilités de fractionner un immeuble de forme irrégulière.

I.17.Le phénomène de résonance :

Il est toujours souhaitable que le concepteur des projets en zone sismique cherche à éviter la résonance de son bâtiment avec le sol.

Par ailleurs, si la période propre d'un bâtiment projeté est proche de celle du sol, il est possible de la modifier.

Ainsi pour raccourcir la période propre d'un bâtiment, on peut :

- Rigidifier le bâtiment :
 - Augmenter la largeur ou le nombre des éléments de contreventement ;
 - Opter pour un contement en voiles de béton armé ;
 - Réduire l'élanement géométrique de la construction (rapport longueur / largeur)
 - Elargir la base de la construction.
 - Réduire la masse de la construction en optant pour une structure plus légère.

I.18.Conception des systèmes porteurs :

I.18.1.Dispositions communes à tous les systèmes :

Un choix judicieux de la structure ne garantit pas en soi un bon comportement de la construction lors d'un tremblement de terre. Pour cela, sa conception doit également être judicieuse.

Les options favorables à la résistance des structures aux séismes sont basées sur un même raisonnement que celles formulées en ce qui concerne le parti architectural :

I.18.2.Régularité :

Toute irrégularité structurale entraîne la présence de <zones> plus rigides que les zones voisines. Elles constituent des <points durs> qui concentrent les efforts tout en possédant une déformabilité limitée, ce qui se traduit souvent par des dommages sismiques (**figure I.29**).



Figure I.29 : dommages sismique à cause de l'irrégularité (Séisme de Northridge, 1994).

I.18.3.Le but de la régularité :

La régularité structurale permet de répartir correctement les charges sismiques sur les éléments porteurs et d'optimiser ainsi le comportement dynamique de la structure. Il est donc préférable d'opter pour :

- Des travées régulières ;
- La superposition des éléments porteurs verticaux ;
- Une même longueur libre pour tous les poteaux participant au contreventement (éviter l'effet de poteau court), (**figure I. 30**).
- Une rigidité horizontale comparable des différents niveaux, sous peine d'entraîner un <effet de niveaux flexibles>.



Figure I.30 : Les fissures en croix et les ruptures par effort tranchant qui ont affecté les colonnes courtes de ce parking ont presque entraîné son effondrement (Northridge, Californie, 1994).

I.19. Les joints :

Les joints sont des dispositifs constructifs qui permettent à un bâtiment de se déformer sous les effets de variations climatiques. Ils sont par ailleurs largement utilisés dans le domaine parasismique pour ramener des configurations compliquées à des formes plus simples (voir **figure I. 31**). L'espacement entre deux blocs est au minimum de 4 cm au rez-de-chaussée et ceci pour éviter l'entrechoquement. Il a été en effet constaté lors des tremblements de terre que deux blocs voisins n'ont pas forcément le même mouvement (**voir figure I.32**).

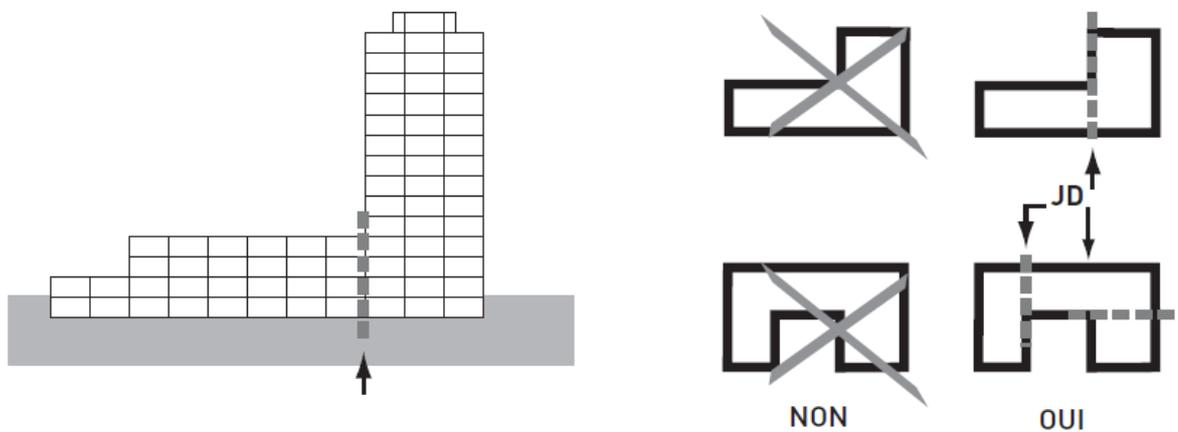


Figure I. 31 : utilisation des joints dilatation.

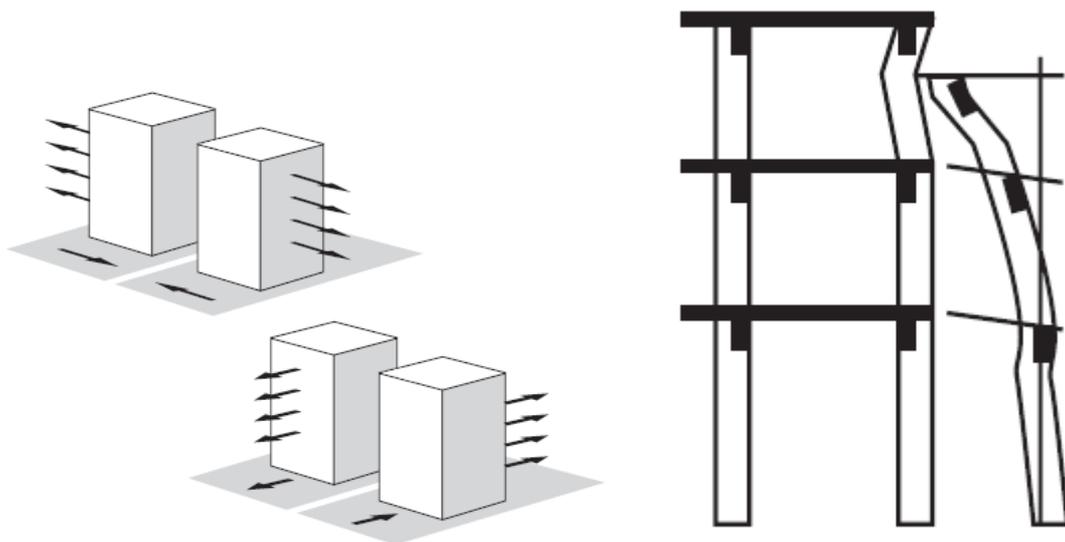


Figure I.32 : Mouvements de blocs voisins.

I.19.1. Les types des joints :

- ✓ **Joints de dilatation** : ces joints permettent d'absorber les déplacements liés à la dilatation ou au retrait des matériaux sous les effets des changements de température. Leur spécification dépend des variations prévisibles de température et du coefficient de dilatation thermique des matériaux.
- ✓ **Joints de retrait** : ces joints contrôlent le retrait du au séchage des planchers et des dallages en béton.
- ✓ **Joints de rupture** : ces joints permettent les déformations différentielles des parties de bâtiment qui sont de hauteur ou de forme différentes.
- ✓ **Joints de tassement** : ces joints sont des dispositifs spéciaux qui limitent l'effet des tassements différentiels des fondations.

I.19.2. Dispositions à prendre lors de la conception :

a) Joints de rupture :

Des joints de rupture doivent être prévus entre deux ouvrages voisins, lorsqu'ils subissent des différences importantes de charge ou qu'ils peuvent subir des différences de tassements.

C'est notamment le cas de bâtiments accolés n'ayant pas le même nombre d'étages ou de bâtiments accolés assis sur un remblai d'épaisseur variable.

Les joints de rupture, s'ils évitent la transmission des efforts et permettent un certain mouvement d'un bâtiment vis-à-vis de l'autre, ne suppriment toutefois pas les interférences dans le sol entre les fondations adjacentes.

b) Joints de dilatation :

- Les joints de dilatation (pour une même construction) ou de rupture (entre deux constructions) concernent toute l'épaisseur de la maçonnerie sur environ 0,02 m.

- Ils sont nécessaires chaque fois qu'il y a un risque de tassement différentiel et en règle générale tous les 20 à 25 mètres.
- Les joints sont remplis avec des matériaux compressibles aptes à se déformer lors des variations de température.

Dans le cas d'un sol homogène et bien consolidé ou dans le cas de descentes de charges semblables de part et d'autre du joint, il n'est pas nécessaire de poursuivre les joints de dilatation de la structure par des joints de rupture au niveau de la fondation (**figure I. 33**). Les joints de dilatation sont alors arrêtés au-dessus de la semelle, en prévoyant un renfort d'armatures immédiatement sous ce joint [14].

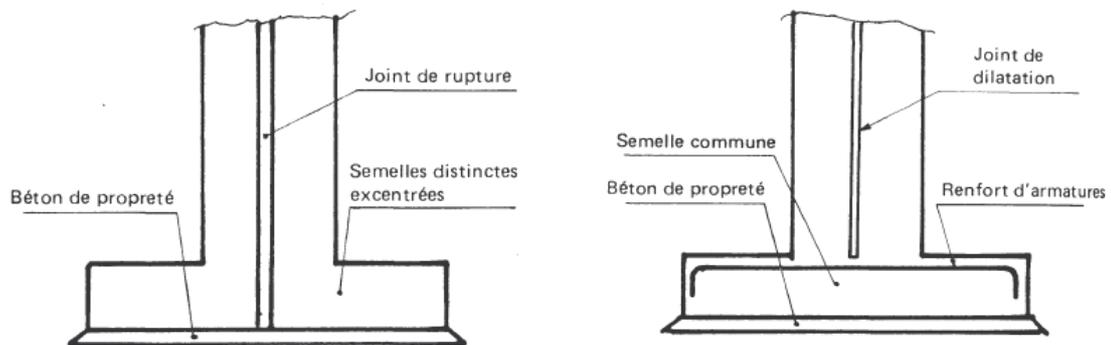


Figure I. 33 : disposition de joint de rupture et joint de dilatation.

c) Joints sismiques :

La disposition des joints sismiques peut coïncider avec les joints de dilatation ou de rupture. Ils doivent assurer l'indépendance complète des blocs qu'ils délimitent et empêcher leur entrechoquement.

En cas de sol de fondation homogène, il n'est pas nécessaire de les poursuivre en fondation.

Les joints doivent être plans, sans décrochement et débarrassés de tout matériau ou corps étranger.

Ils sont disposés de façon :

- A limiter des longueurs de bâtiments trop importantes
- A séparer les blocs de bâtiments ou ouvrages accolés de géométrie et /ou de rigidités et de masses inégales.
- A simplifier les formes en plan de bâtiments présentant des configurations complexes (Forme en T, U, L, H,...).

I.19.3. Justification de la largeur des joints sismiques :

Deux blocs voisins doivent être séparés par des joints sismiques dont la largeur minimale d_{\min} satisfait la condition suivante :

$$d_{\min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2)\text{mm} \geq 40\text{mm}$$

(I.2)

δ_1 et δ_2 : déplacements maximaux des deux blocs, calculés calculé selon (2) au niveau du sommet du bloc le moins élevé incluant les composantes dues à la torsion et éventuellement celles dues à la rotation des fondations [7].

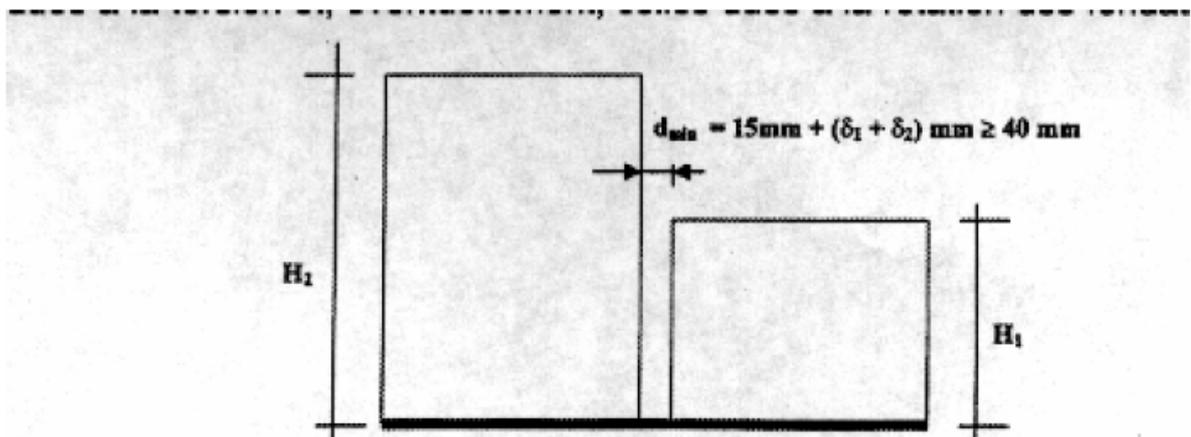


Figure I. 34: largeur minimum du joint sismique.

Avantage :

- ✓ Possibilité d'absorber des déplacements horizontaux et verticaux importants,
- ✓ Emploi de liaisons et d'assemblages classiques entre éléments de la structure,
- ✓ Possibilité de séparer les deux parties du bâtiment vis-à-vis de l'état limite de résistance au feu de la structure. Un mur pare-feu ou coupe feu peut être facilement construit au droit du joint de dilatation.
- ✓ Solutions recommandées dans les régions sismiques (dans ce cas, le joint doit satisfaire aux règles sismiques de conception et de calcul relatives à l'espacement entre blocs).

Inconvénients :

- ✓ Modification de la trame du bâtiment,
- ✓ Doublement des travaux de fondation,
- ✓ Nécessité d'un portique supplémentaire,

I.19.4. La différence entre un joint de dilatation et un joint parasismique :

Le joint parasismique a pour but d'éviter tout entrechoquement entre les corps de bâtiment qu'il sépare.

Ce n'est pas le cas du joint de dilatation qui est trop faiblement dimensionné et n'est pas vide. De fait, en zone sismique, tout joint de dilatation doit être remplacé par un joint parasismique en raison de ces impératifs de non entrechoquement.

Un joint parasismique est un espace **vide de tout matériau**, présent sur **toute la hauteur de la superstructure des bâtiments** ou parties de bâtiments qu'il sépare.

Ses dimensions sont **calculées en fonction des déformations possibles** des constructions, avec un **minimum réglementaire** pour les ouvrages à risque normal de 4 cm en zone Ib et

6 cm en zones II et III, de façon à permettre le déplacement des blocs voisins sans aucune interaction (chocs) [4].



Figure I.35: (Japon, Document X) Joint parasismique vertical large entre deux constructions

susceptibles de présenter des déformations importantes en partie supérieure.



Figure I.36 : (Basse-Terre, Document P. Balandier) – Joint parasismique vertical étroit entre deux parties d’un même bâtiment. Le joint PS est couvert d’un couvre joint souple.



Figure I.37 : Entreoquement de bâtiments pour cause de joint trop étroit au regard des déplacements réels.

Chapitre II

Méthode d'évaluation du point de performance

II.1. Introduction :

Une évaluation fiable du comportement d'un bâtiment face à un tremblement de terre, en termes de dommages, requiert un outil permettant une analyse des structures au-delà du domaine élastique.

La méthode que nous proposons pour évaluer la performance sismique d'une structure de Génie civil est une méthode statique non linéaire, qui consiste essentiellement à comparer la demande à la capacité sismique. Cette méthode, qui est essentiellement basée sur le spectre de capacité de la structure, repose sur une analyse pseudo statique non- linéaire simplifiée. La sollicitation ne varie pas dans le temps, et la déformation correspond uniquement au premier mode de vibration. La méthode statique non linéaire basée sur le point de performance nécessite la définition de [16] :

- ✓ La demande sismique sous forme d'une réponse spectrale.
- ✓ La capacité sismique.
- ✓ Le niveau d'endommagement.

II.2. Définition de la méthode pushover :

La méthode d'analyse statique non linéaire pushover (poussée progressive) est une méthode approximative dont laquelle la structure est soumise à une charge latérale croissante jusqu'à atteindre un déplacement cible. L'analyse pushover consiste en une série d'analyses élastiques, superposées pour approximer une courbe de capacité ou courbe effort tranchant à la base – déplacement au sommet. La première étape est d'appliquer la force gravitaire et latérale, la charge latérale est augmentée d'une manière itérative jusqu'à atteindre une première plastification d'un élément (apparition de rotule plastique). En prenant en compte le nouvel état d'équilibre du à la diminution de la raideur, le processus continu jusqu'à avoir un déplacement limite au sommet de la structure ou jusqu'à une instabilité.

II.3 .Origine de l'analyse Pushover :

L'analyse statique pushover est basée sur l'hypothèse que la réponse de la structure qui peut être assimilée à la réponse d'un système à un seul degré de liberté équivalent, ce qui implique que la réponse est fondamentalement contrôlée par un seul mode de vibration et la forme de ce mode demeure constante durant la durée du séisme. Les chercheurs ont montré que ces hypothèses donnent de bons résultats concernant la réponse sismique

(déplacement maximale) donnée par le premier mode de vibration de la structure simulé à un système linéaire équivalent.

II.4.La demande sismique :

Le spectre de réponse est la notion la plus répandue pour représenter un séisme. Il fournit la réponse maximale d'oscillateurs linéaire soumis à un séisme.

Cette réponse se calcule simplement pour un oscillateur linéaire de masse (M), de raideur(K), Et d'amortissement (C) dont le déplacement relatif par rapport à son support soumis à une excitation sismique représenté par l'enregistrement de l'accelerogramme.

II.4.1. Représentation (Sa-Sd) pour la demande sismique :

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 (ξ) (Figure. II.1) Chacun des points précédents $S_{ai} = f(T_i)$ est transformé dans un diagramme [17]. $S_a = g(S_d)$ (Figure. II.2)

Avec : S_a : accélération spectrale.

T : période d'oscillation.

Ou (S_d) est le déplacement spectral, donné par la relation (II.1):

$$S_d = \frac{T^2 S_a}{4\pi^2} \dots\dots\dots (II.1)$$

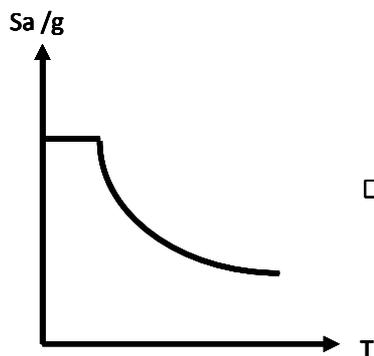


Figure. II.1 : le spectre de réponse
Format ($S_a / g - T$)

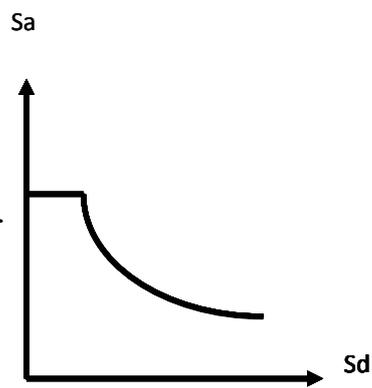
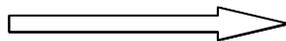


Figure. II.2 : Le spectre de réponse
format ($S_a - S_d$)

II.5. Courbe de capacité :

Le calcul non linéaire permet d'obtenir une courbe de capacité de la structure (**Figure. II.3**). Cette courbe représente l'effort horizontal à la base du bâtiment en fonction du déplacement de celui-ci. La courbe de capacité est en général formée par une phase à caractère élastique linéaire suivie par une phase non linéaire correspondant à la formation des rotules de flexion et de cisaillement, jusqu'au moment de la rupture (défaut de résistance). La rupture est identifiable par une chute de l'effort à la base suite à un petit déplacement de la structure. Les stades de plastification, ainsi que les différents degrés d'endommagement, peuvent donc être introduits sur cette courbe [18].

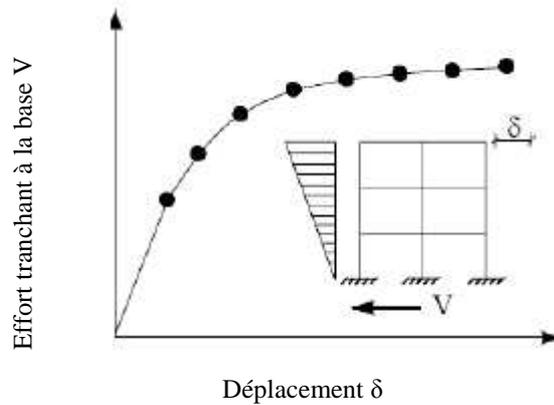


Figure II. 3 : la courbe de capacité.

Cette courbe est ensuite transformée dans la représentation (Sa -Sd) par l'intermédiaire des paramètres propres au premier mode de déformation.

On donc : $S_a = V \alpha / W$ (II.2)

L'effort tranchant a la base est divisé par la masse vibrant pour obtenir l'accélération correspondante ($V = m \cdot \gamma$) et comme on prend en considération que le premier mode, on divise le résultat obtenu par le facteur de masse vibrante dans ce mode [18].

$S_d = \Delta s / (p_{fi} \times \phi_{1s})$ (II.3)

Le déplacement au sommet de la structure est le facteur de participation du premier mode. Avec :

$$\alpha : \text{coefficient de masse modale [19] ; } \alpha = \frac{\left(\sum_{l=1}^{i=n} m_l \phi_l\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=n} m_i\right)\left(\sum_{l=1}^{i=n} m_l \phi_l^2\right)} \dots\dots\dots$$

(II.4)

$$p_{fi} : \text{Facteur de participation du première mode [19] ; } p_{fi} = \frac{\sum_{l=1}^{i=n} m_l \phi_l}{\sum_{l=1}^{i=n} m_l \phi_l^2} \dots\dots\dots$$

(II.5)

ϕ_{1s} : Amplitude au sommet, du première mode qui est normalise à 1.

W : poids totale de structure.

m_i : poids de l'étage i.

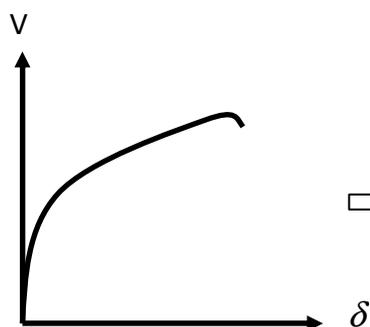


Figure. II.4 : Courbe de capacité
V= f (delta).

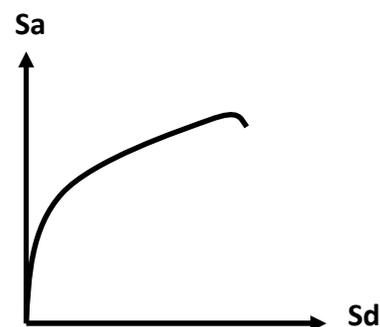
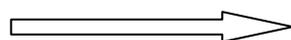


Figure. II.5: Courbe de capacité
Sa=f(Sd).

II .6. Evaluation du point de performance :

II.6.1. Procédure d'évaluation du point de performance :

Pour l'évaluation du point de performance nous avons utilise la procédure par superposition directe de la courbe de capacité et celle de la demande sismique.

Le point de performance est évalué directement par l'intersection de ces deux courbe, en ce point la demande égale à la capacité, correspond à un déplacement

maximum et à un état de dommages spécifique. Cet état est bien unique, et il correspond à un mouvement sismique spécifique.

La superposition de la courbe de capacité et celle de la demande sismique nous conduit à définir trois cas :

II .6.1.1. La demande est inférieure à la capacité :

Le déplacement maximale qui peut être support par la structure est supérieur au déplacement impose par le séisme (**figure II.6**) 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 [19].

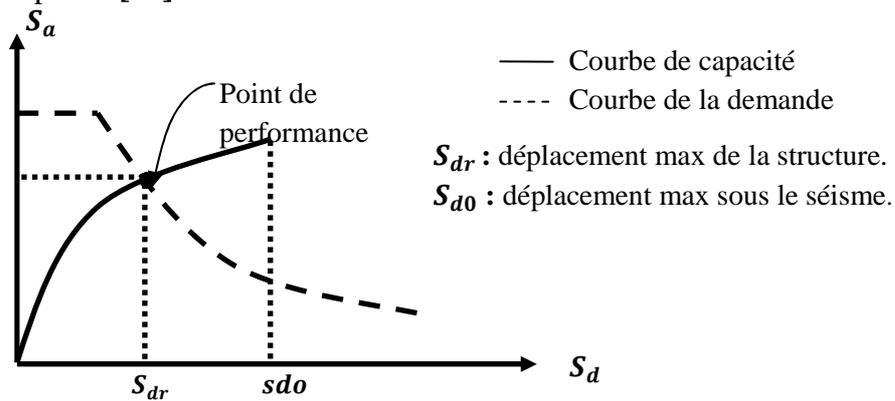


Figure II .6 : Courbes capacité-demande
(La demande est inférieure à la capacité).

II.6.1.2 La demande est égale à la capacité :

Le déplacement impose par la le séisme est égale au déplacement maximale de la structure [19] (**figure II.7**).

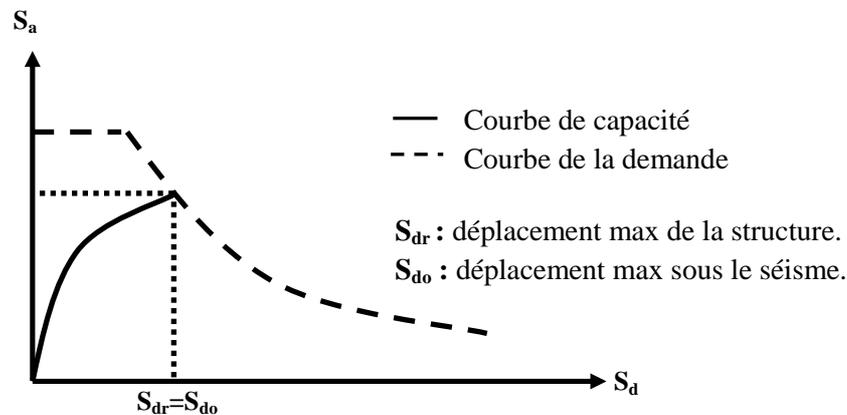


Figure II .7 : Courbes capacité-demande
(La demande est égale à la capacité).

II.6.1.3. La demande est supérieure à la capacité :

Le déplacement impose par le séisme est supérieur à la capacité de la structure (**figure II.8**), il conduit à l'effondrement totale ou presque de cette dernière [19].

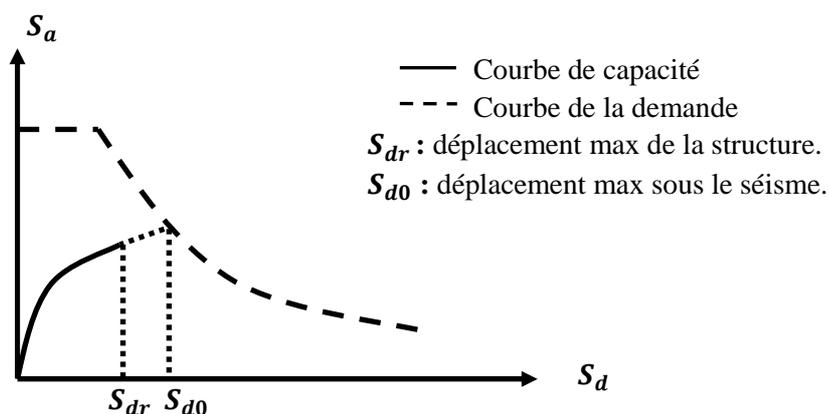


Figure II.8 : Courbes capacité-demande
(La demande est supérieure à la capacité)

II.7. 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, on cite :

- 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].

Tous ces points sont utilisés dans le cas de calcul en capacité pour s'assurer que la séquence de formation des rotules plastiques est conforme aux hypothèses de la conception.

II.8. Estimation des degrés des dommages :

II.8.1. L'échelle de dommage utilisée :

L'échelle de dommage utilisée est l'échelle macrosismique européenne EMS98. Cette échelle comprend cinq (05) degrés de dommage pour les bâtiments en béton armé.

II.8.2. Domaine des dommages :

La courbe de capacité est divisée en cinq (05) intervalles qui correspondent aux cinq (05) niveaux de dommage de l'échelle EMS98 [21]. Cette courbe représente le déplacement du dernier niveau d'un bâtiment en fonction de la force sismique, elle montre le comportement de la structure face à n'importe quelle sollicitation horizontale, indépendamment de son intensité. Bien évidemment, le déplacement de la

structure augmente avec la force, jusqu'au moment où elle – ci perd complètement sa capacité de résistance.

- ✓ Les niveaux de performance sont décrits par une courbe de capacité (**Figure II.9**) composée de cinq segments, chaque segment correspond à une étape d'endommagement.

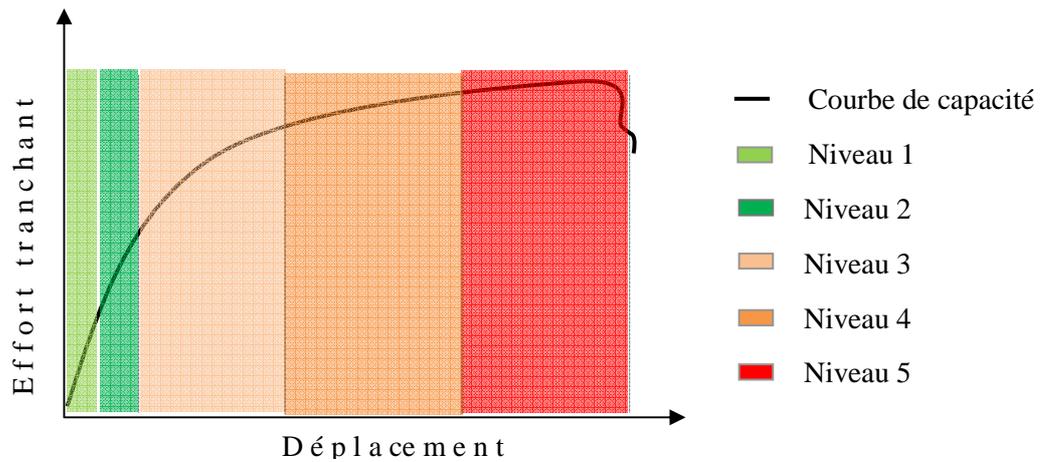


Figure II.9 : Niveaux d'endommagement décrits par une courbe de capacité.

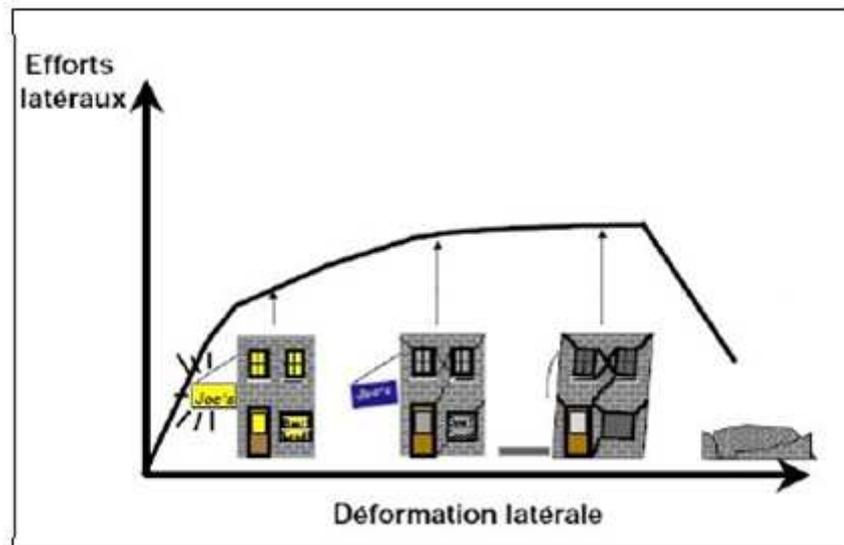


Figure II.10 : Endommagement correspondant.

Niveau D'endommagement	Description
Niveau I (Vert 1 :v1)	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).
Niveau II (Vert 2 :v2)	Représente un endommagement contrôlé. La stabilité de la structure n'est pas en danger, mais toutefois un endommagement mineur est susceptible de se développer.
Niveau III (orange 1 :Org 1)	Représente un état d'endommagement avancé, la stabilité de la structure est menacée.
Niveau IV et Niveau V (orange 2 :Org 2 et rouge : R 5)	Au delà du niveau III (point de rupture), la structure est susceptible de s'effondrer, elle ne présente plus de capacité de résistance.

Tableau II .1 : Niveaux d'endommagement.

Le déplacement spectral pour chaque domaine de dommage est donné par le **tableau II. 2.**

Degré des dommages	Déplacement spectral
V 1	$S_d = 0,4 S_{dy}$
V 2	$S_d = 0,8 S_{dy}$
Org1	$S_d = S_{dy} + 0,25(S_{du} - S_{dy})$
Org 2	$S_d = 0,75 S_{du}$
R 5	$S_d = S_{du}$

Tableau II.2 : Domaines des dommages.

II.9. La représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire permet de déterminer la limite élastique (point A), et la limite ultime (point B) de la courbe de capacité (**figure II .11**).

Les point A et B sont déterminés de façon que l'aire sous la courbe de capacité soit la même que l'aire sous la courbe bilinéaire.

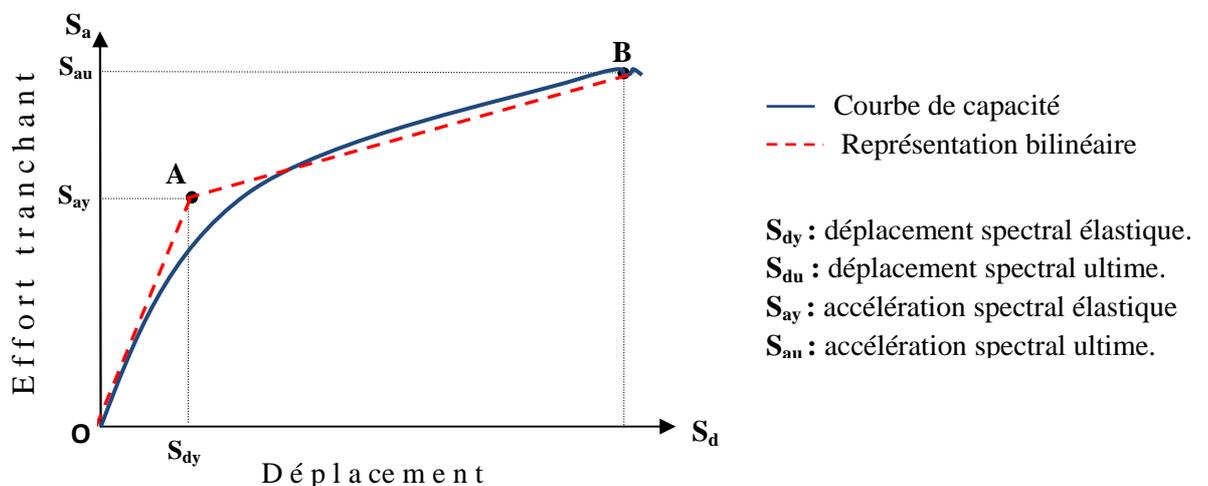


Figure II .11 : Représentation bilinéaire de la courbe de capacité.

Le comportement de la structure sur le tronçon (OA) correspond à un comportement élastique. Au delà de ce point la déformation de la structure n'est plus proportionnel à la sollicitation (la structure ne revient plus à son état initial si la force est nul).

II.10.Conclusion :

L'analyse pushover est un outil puissant et très utile qui peut permettre aux ingénieurs de structures de rechercher plusieurs schémas de confortement de bâtiments existants et d'étudier de nouvelles structures qui se comporteront d'une manière adéquate durant de futurs séismes.

Chapitre III :

Présentation des

bâtiments

III.1.Introduction :

Notre méthode consiste à étudier des bâtiments en R+3 à usage d'habitation en ossature auto stable en béton arme, avec remplissage en maçonnerie et une terrasse inaccessible.

Le travail consiste à modéliser une structure et procéder en suit à l'augmentation du nombre de fils de portiques dans le sens (xx), jusque la condition $Lx/Ly \geq 4$ soit atteindre.

III.2. Présentation et description des bâtiments :

Les bâtiments sont implantés sur un sol argileux classé selon le RPA 99 en site S3 (sol ferme) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement $V_s \geq 200\text{m/s}$ et des périodes de transitions spectrales T1, T2 de 0,15 et 0,5 s respectivement.

Ces bâtiments comportent :

- 01 rez de chaussée (RDC) à usage d'habitation.
- 03 étages courants à usage d'habitation.
- Une cage d'escalier

Les dimensions des bâtiments sont :

La longueur modelable.

Hauteur de RCD	3.06m
Hauteur des étages courants	3.06m
La hauteur totale des bâtiments	12 .24m
La largeur totale des bâtiments	11, 1m
La largeur des balcons	1.40m
La section des poteaux	(30x40) cm ²
La section des poutres principales	(25x40) cm ²
La section des poutres secondaire	(25x35) cm ²

III.3.1.Modélisation de la structure :

L'objectif est de déterminer qu'elle est la capacité du bâtiment et ensuite d'évaluer le point de performance face à un risque sismique donné. Toute la modélisation sera faite avec le logiciel ETABS.

III.3.2. Chargement de la structure :

Deux types de charges gravitationnelles sont utilisés dans le calcul :

- Une charge permanente, correspond aux poids des éléments de la structure (mur, poteaux, planchers, etc....)
- Une charge d'exploitation (en fonction de l'usage).

Pour l'action sismique est prise en compte par la définition du spectre de réponse appropriée au site d'implantation du bâtiment

III.3.3. Caractéristiques des matériaux :

III.3.3. 1. La résistance moyenne du béton :

Pour notre étude nous avons pris $f_{c28}=25\text{MPa}$.

- **Le module d'élasticité du béton est.**

$$E_b = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 11000 \sqrt[3]{25} = 32164,195 \text{ MPa.}$$

III.3.3.2. La limite élastique des armatures :

La limite élastique des armatures à haute adhérence est estimée à 400MPa avec $E_s=200000 \text{ MPa}$. Sa valeur est constante quelque soit la nuance de l'acier

III.4. Etude des structures :

III.4.1. Structure 1 :

III.4.1.1. longueur des travées entre axe :

La première structure est une structure qui a les dimensions suivantes (figure III.1 et III.2).

Travée	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
Dimensions(m)	4.20	4.30	3.00	4.30	4.20

III.4.1.2. Vérification de la régularité en plan :

- $L_x/L_y=20,3/11,1=1,82<4$ (la condition est vérifiée)
- La longueur de décrochement est inférieure à 25% de L_y ($2,8 / 11 .1=0,252$)
(la condition est vérifiée)
- La surface des ouvertures $9,72\text{m}^2 < 15\%$ de la surface totale qui est égale $198,69 \text{ m}^2$
(la condition est vérifiée)
- Condition de l'excentricité
 $e_x \leq 0,15L_y$ $e_x = 0$
 $e_y \leq 0,15L_x$ $e_y = 0,05 \text{ m} \leq 0,15 .20 = 3 \text{ m}$ (la condition est vérifiée)

Les quatre conditions du RPA sont vérifiées donc le bâtiment est régulier en plan.

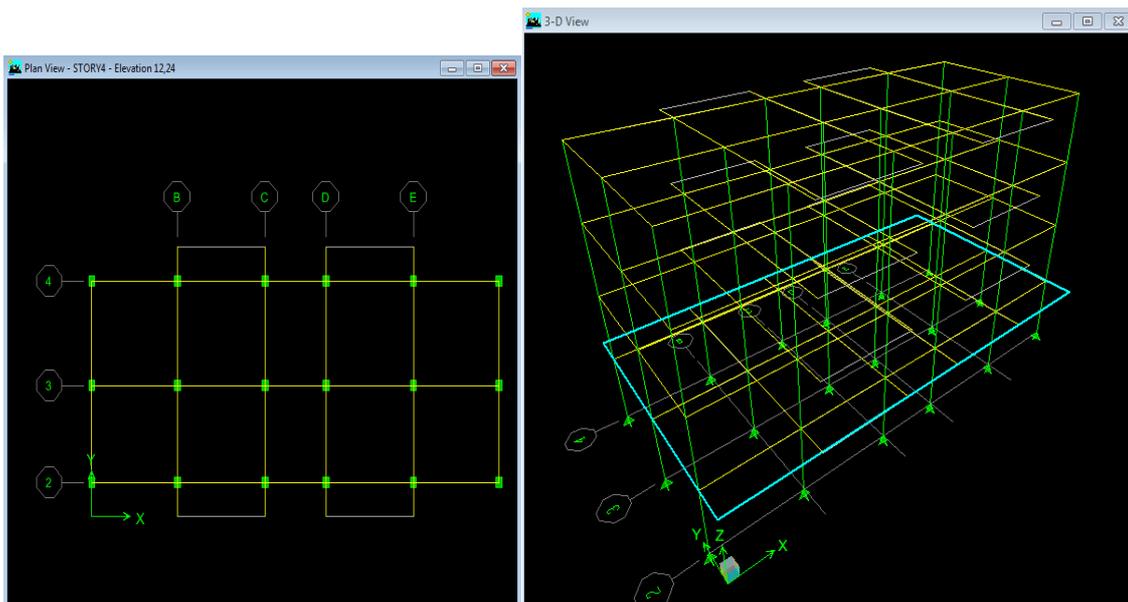


Figure III.1 : Vue en plan du 1^{er} bâtiment.

Figure III.2 : Vue en 3D 1^{er} du bâtiment.

III.4.2. Structure 2:

III.4.2.1. longueur des travées entre axe:

La deuxième structure étudiée est une structure qui a les dimensions suivantes (figure III.3 et III.4).

Travée	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	I-J
Dimensions(m)	4,2	4,3	3	4,3	4,2	4	3,5	4	4

III.4.2.2 Vérification de la régularité en plan :

- $L_x/L_y=35,8/11,1=3,22 < 4$
- La longueur de décrochement est inférieure à 25% de L_y ($2,8 / 11,1=0,252$)
- La surface des ouvertures $9,72\text{m}^2 < 15\%$ de la surface totale qui est égale à $333,54\text{m}^2$
- $e_x \leq 0,15L_y$ $e_x = 0$, $15\text{m} < 0,15L_y = 1,665\text{m}$
 $e_y \leq 0,15L_x$ $e_y = 0,24\text{ m} \leq 0,15 L_x = 5,32\text{ m}$

Les quatre conditions du RPA sont vérifiées donc le bâtiment est régulier en plan.

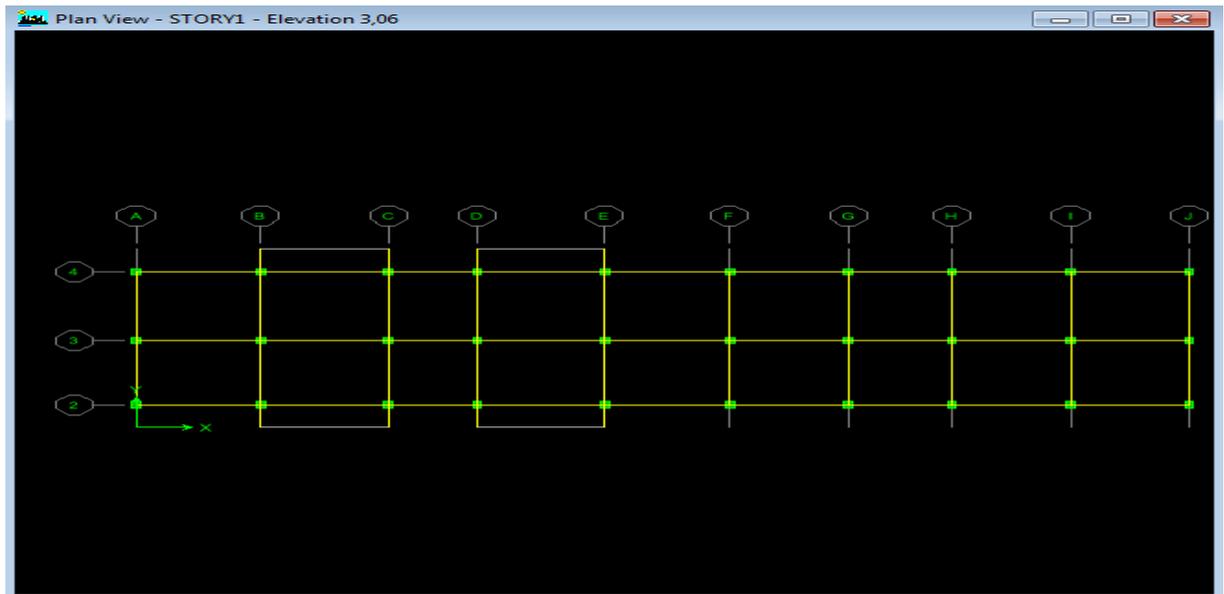


Figure III.3 : Vue en plan du 2^{eme} bâtiment.

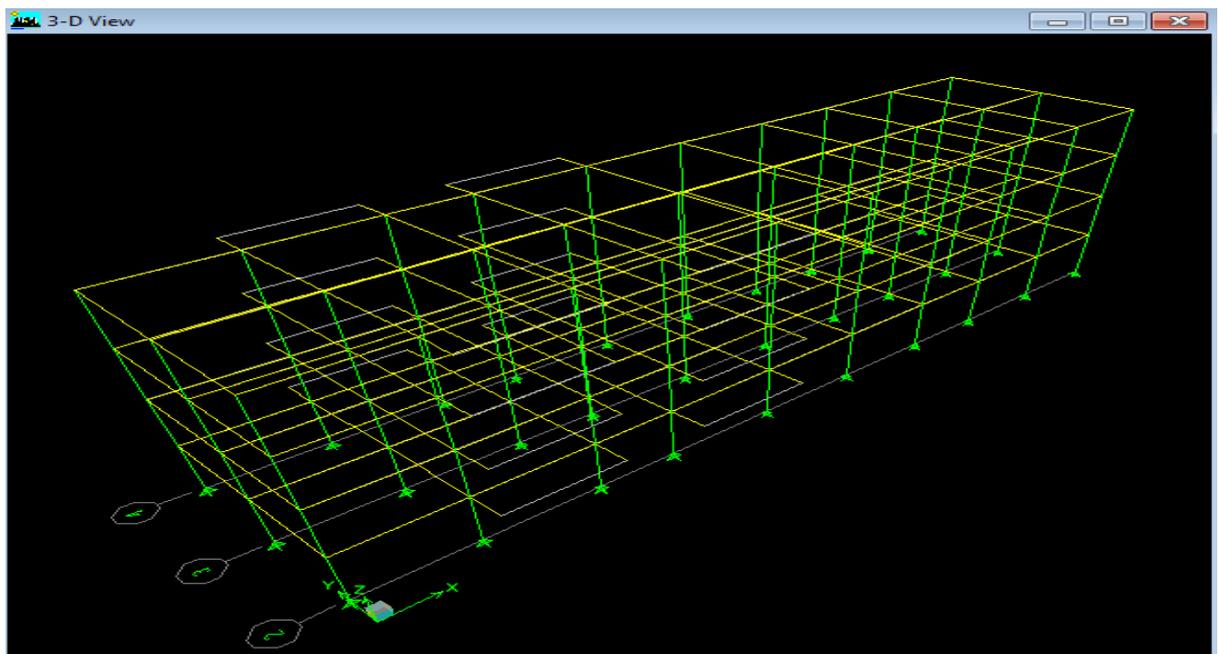


Figure III.4 : Vue en 3D du 2^{eme} bâtiment.

III.4.3. Structure 3:

III.4.3.1. longueur des travées entre axe:

La troisième structure a pour dimensions suivantes :

Travée	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	I-J	J-K	K-L	L-M
Dimensions(m)	4,2	4,3	3	4,3	4,2	4	3,5	4	4	2,5	3	3

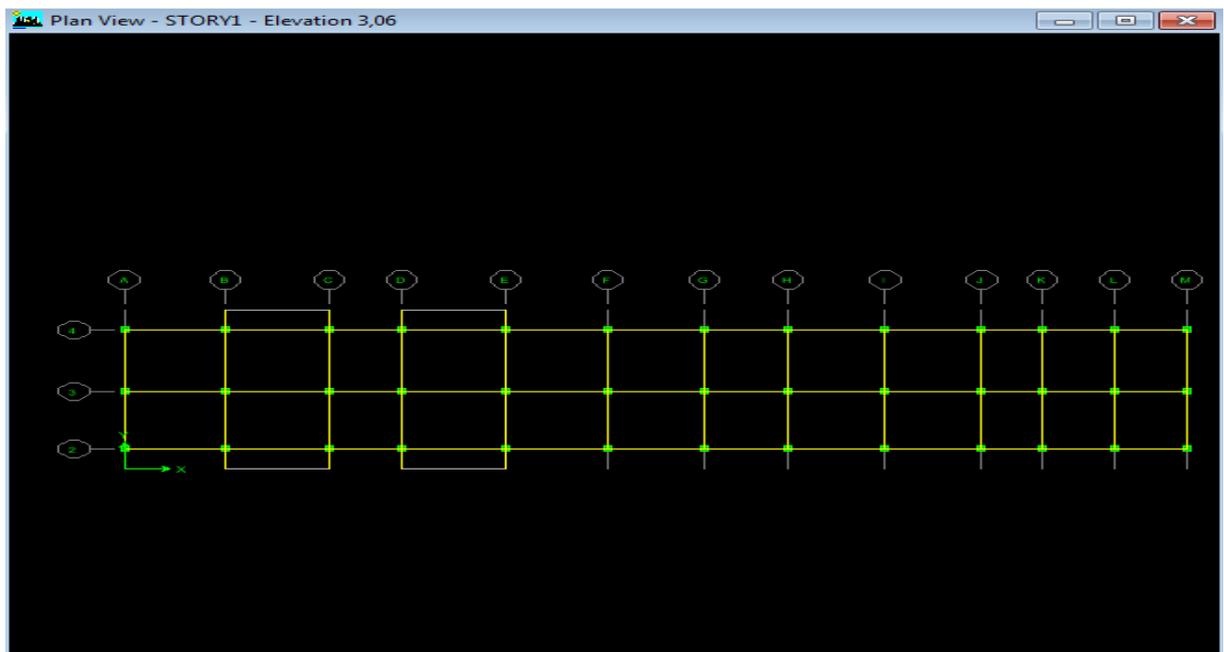


Figure III.5 : Vue en plan du 3^{ème} bâtiment.

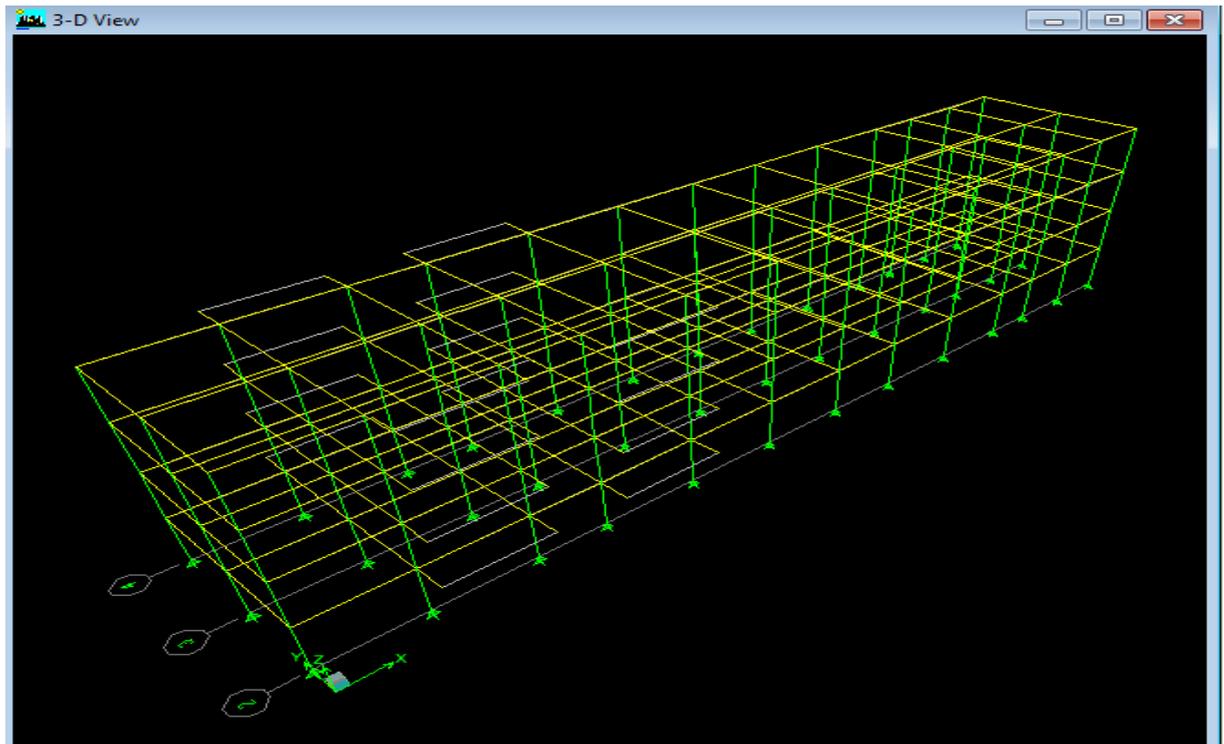


Figure III.6 : Vue en 3D du 3^{ème} bâtiment.

III.4.3.2 Vérification de la régularité en plan :

- a) $L_x/L_y=44,4/11,1=4$
- b) La longueur de décrochement est inférieure à 25% de $(2,8 / 11,1=0,252)$
- c) La surface des ouvertures $9,72\text{m}^2 < 15\%$ de la surface totale qui est égale à $387,28\text{m}^2$
- d) $e_x=1,25\text{m} \leq 0,15L_y=1,665\text{m}$
 $e_y=0,26\text{m} \leq 0,15L_x=6,6\text{m}$

Les quatre conditions du RPA sont vérifiées donc le bâtiment est régulier en plan.

III.4.4. Structure 4 :

III.4.4.1. longueur des travées entre axe :

La quatrième structure étudiée a les dimensions suivantes (figure III.7 et III.8).

Travée	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H
Dimensions(m)	4,2	4,3	3	4,3	4,2	4	3,5

H-I	I-J	J-K	K-L	L-M	M-N
4	4	2,5	3	3	4

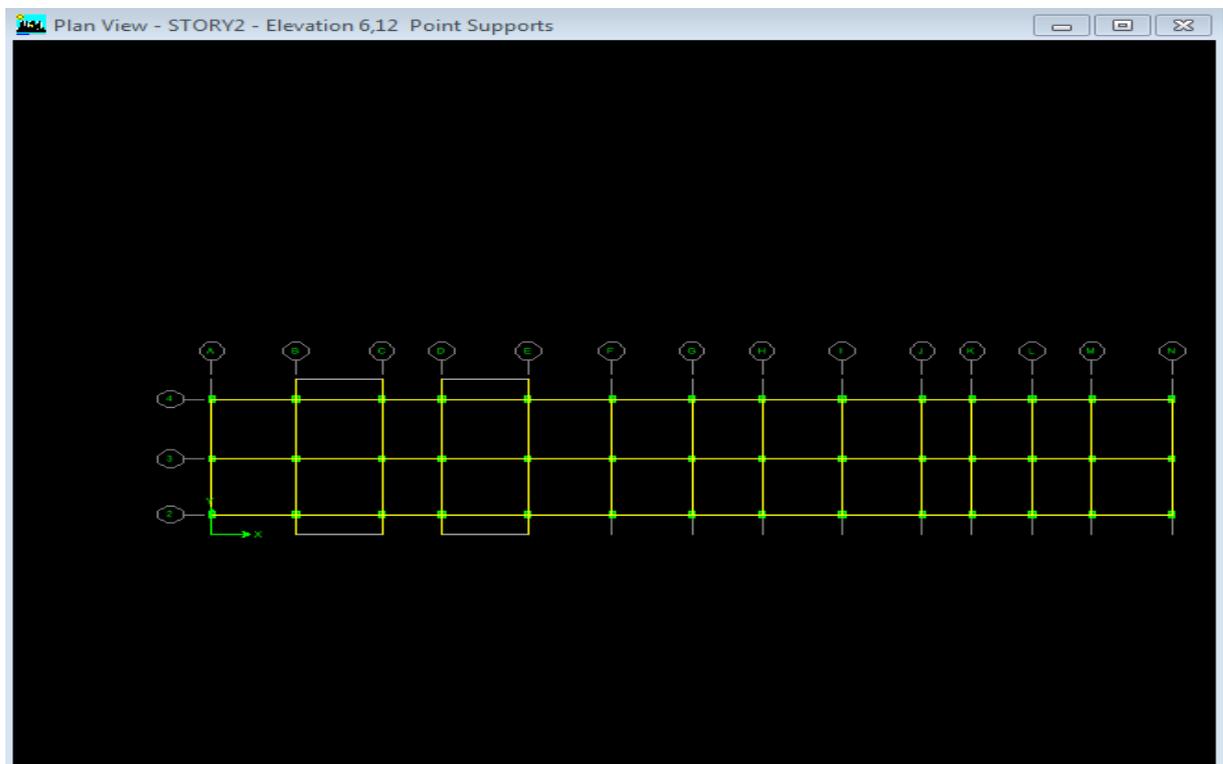


Figure III.7 : Vue en plan du 4^{ème} bâtiment.

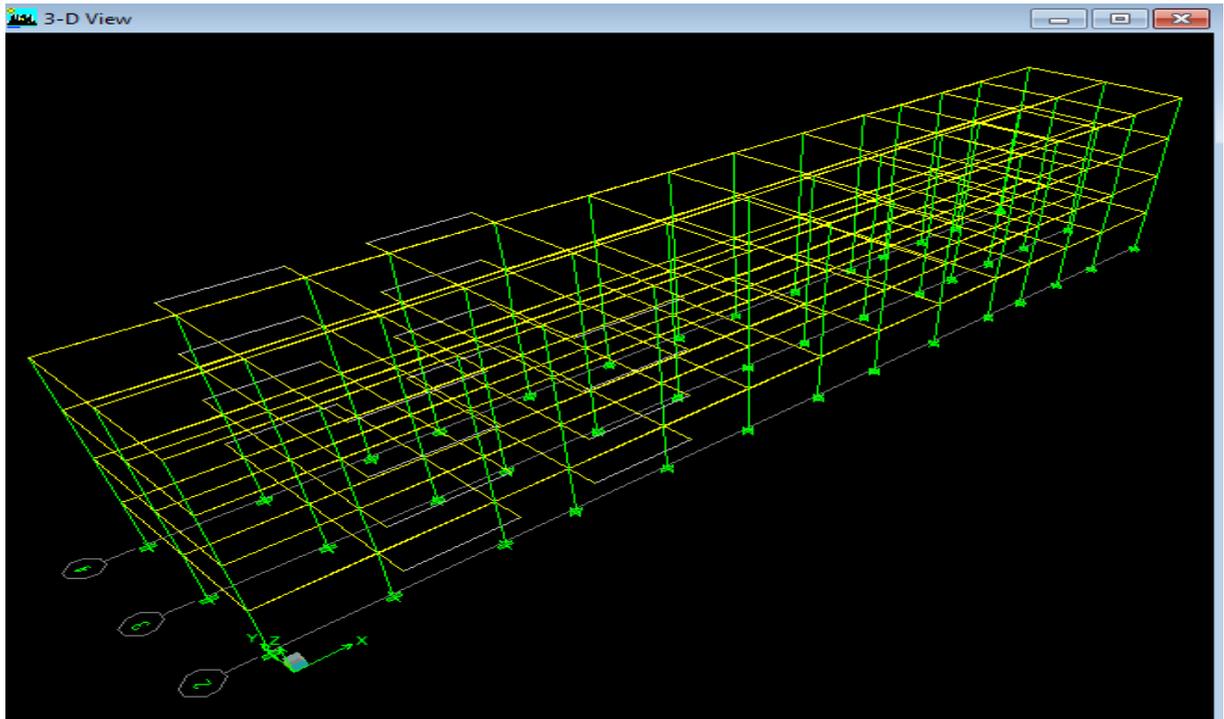


Figure III.8 : Vue en 3D du 4^{ème} bâtiment.

III.4.4.2 Vérification de la régularité en plan :

- a) $L_x/L_y=48,4/11,1=4,36>4$
- b) La longueur de décrochement est inférieure à 25% de L_y ($2,8/11,1=0,252$)
- c) La surface des ouvertures $9,72m^2 < 15\%$ de la surface totale qui est égale à $420,48m^2$
- d) $e_x=1,98m > 0,15L_y=1,665m$
 $e_y=0,01m < 0,15L_x=7,2m$

Les quatre conditions du RPA ne sont pas vérifiées donc le bâtiment est irrégulier en plan

III.4.5. Structure 5:

III.4.5.1. longueur des travées entre axe:

La cinquième structure étudiée a les dimensions suivants (figure III .9 et III.10).

Travée	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H
Dimensions(m)	4,2	4,3	3	4,3	4,2	4	3,5

H-I	I-J	J-K	K-L	L-M	M-N	N-O
4	4	2,5	3	3	4	4

III.4.5.2 Vérification de la régularité en plan :

- a) $L_x/L_y=52,4/11,1=4,72>4$
- b) La longueur de décrochement est inférieure à 25% de L_y ($2,8/11,1=0,252$)
- c) La surface des ouvertures $9,72m^2 < 15\%$ de la surface totale qui est égale à $441,68m^2$
- d) $e_x=1,87 > 0,15L_y=1,665m$
 $e_y=0,1m < 0,15L_x=7,8m$

Les quatre conditions du RPA ne sont pas vérifiées donc le bâtiment est irrégulier en plan.

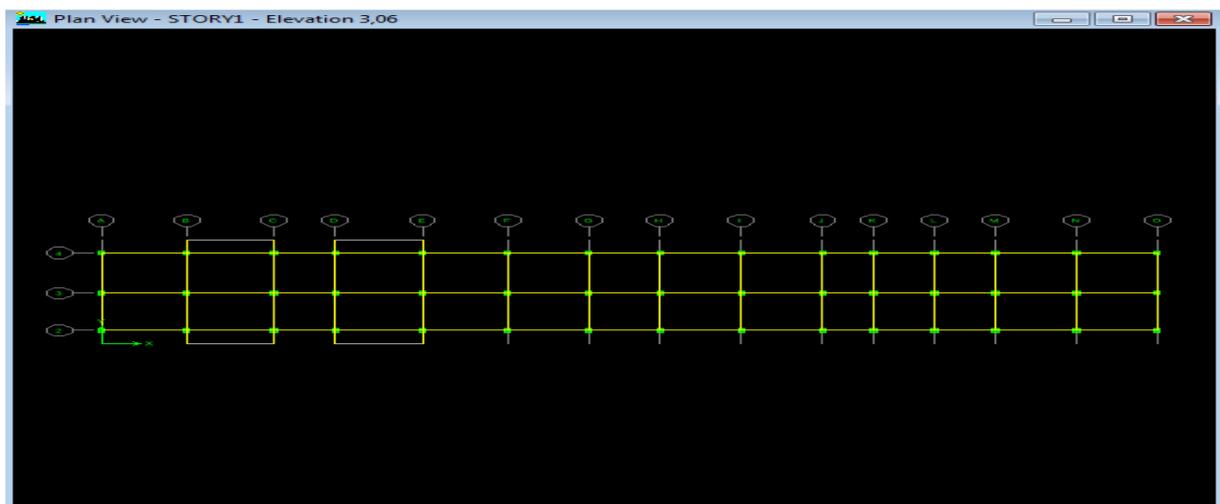


Figure III.9 : Vue en plan du 5^{ème} bâtiment.

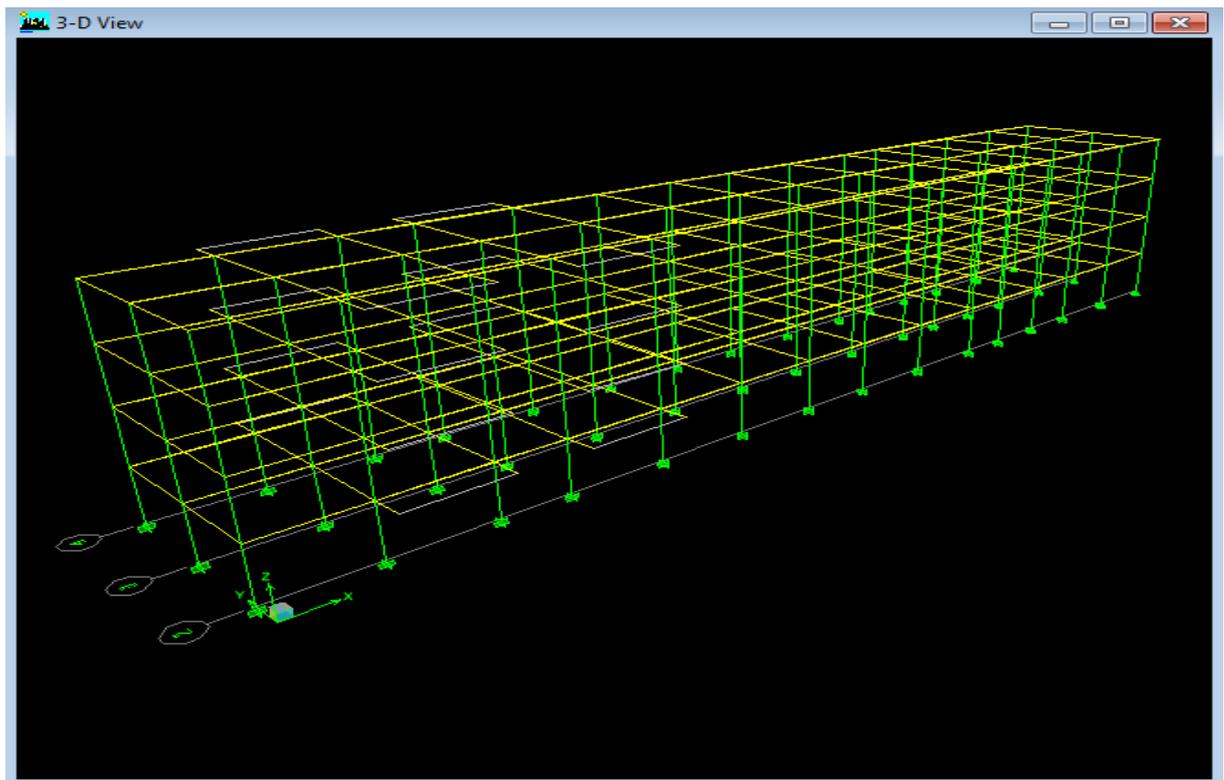


Figure III.10 : Vue en 3D du 5^{ème} bâtiment.

III.5. Analyse statique non linéaire :

Pour pouvoir appliquer l'analyse pushover ; il faut définir au préalable les rotules plastiques ainsi que leurs longueurs sur les différents éléments structurels (poteaux et poutres) donc nous devons éclairer les notions suivantes :

-rotule plastique.

-longueur plastique.

III.5.1. Définition d'une rotule plastique :

C'est une zone d'un élément de structure (poutres, poteaux, voiles.) subissant des déformations irréversible et capables de dissiper de l'énergie sous sollicitations alternées

.Au delà d'un seuil, de sollicitation, elle se comporte comme une articulation autorisant la rotation des autres parties de l'élément (figure III.11).

III.5.2.Longueur et positionnement des rotules plastique :

La longueur de la rotule plastique dans les poteaux (ainsi que dans les poutres) est donnée par la formule [III.1].

$$L_{pl}=a_{st} \cdot (0,08.L_v+0,022f_s \cdot d_{pl}) \text{ en [mm]} \quad \text{[III.1]}$$

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 longitudinal, en [MPa].
- f_t Résistance à la traction de l'armature longitudinale, en [MPa].
- d_{pl} Diamètre de l'armature longitudinal, en [mm].

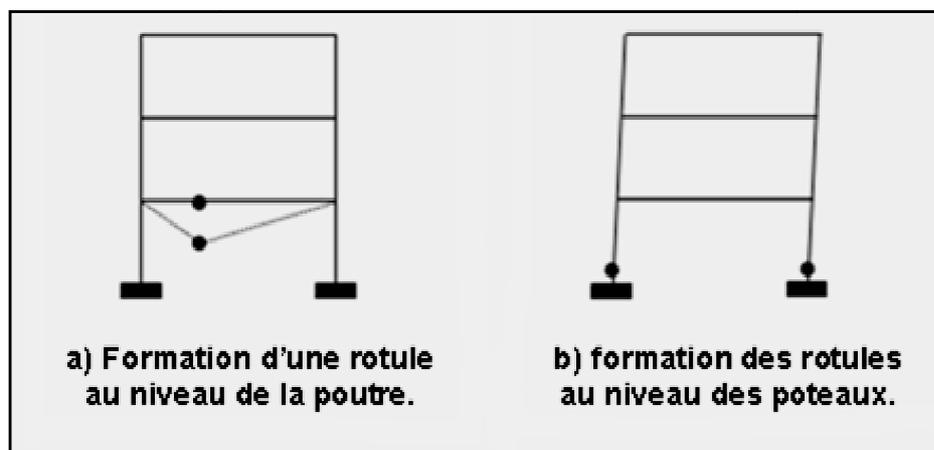


Figure III.11. Formation des rotules plastiques.

Ces rotules plastiques sont caractérisées par certains paramètres qui définissent la capacité de déplacement, ou de rotation de la rotule, avant sa rupture.

Les valeurs caractérisant les rotules plastiques définissent le mécanisme global de ruine de la structure, et représentent des éléments fondamentaux de la modélisation non linéaire

Chapitre IV :
présentation des
résultats

IV .1 .Introduction :

Dans notre cas, le calcul de la vulnérabilité des structures étudiée se fera par la méthode pushover qui consiste à superposer la demande sismique à la capacité des structures.

IV .2. Etude des structures régulières :

IV.2.1. structure 1 :

IV.2.1.1 courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.1 et IV.2) suivant les deux directions sont résumées dans le (tableau IV.1).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s ²)
Direction(YY)	1	0	0
	2	0,032	0 ,171
	3	0,048	0,242
	4	0,061	0,26
	5	0,092	0,263
Direction(YY)	1	0	0
	2	0,035	0,243
	3	0,039	0 ,265
	4	0,065	0,322
	5	0,089	0,364

Tableau IV.1.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions

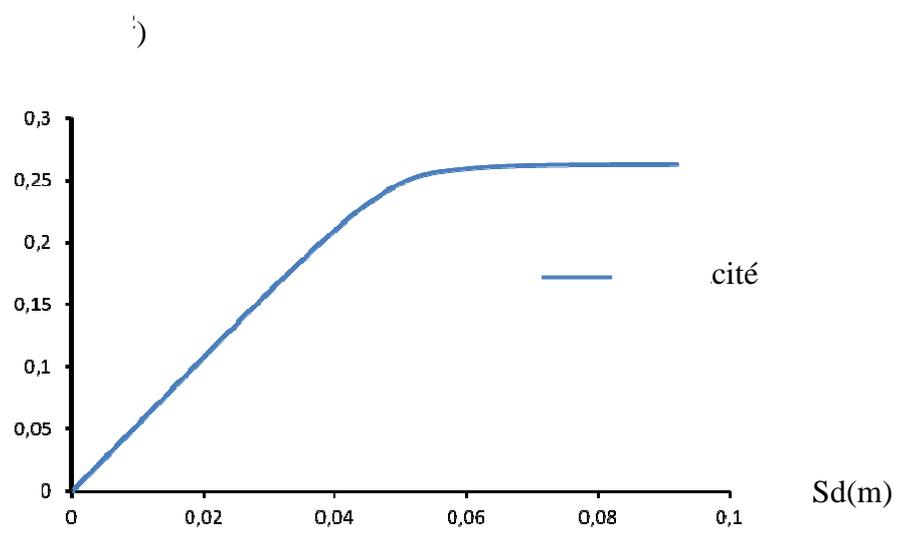


Figure IV.1 : courbe de capacité selon la direction (xx).

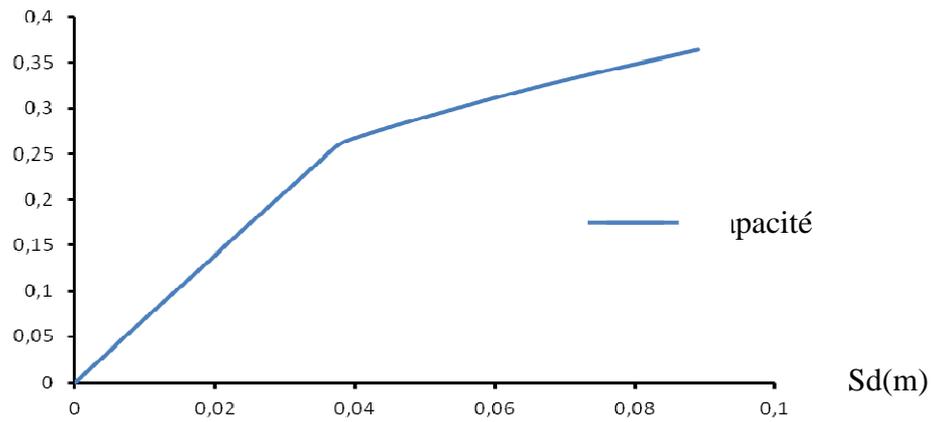


Figure IV.2 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.2.1.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

Une représentation bilinéaire est développée tel que l'aire sous la courbe de capacité soit la même que celle sous la courbe bilinéaire qui nous permet de déterminer les limites élastique (S_{dy} , S_{ay}) figure (IV.3 et IV.4)

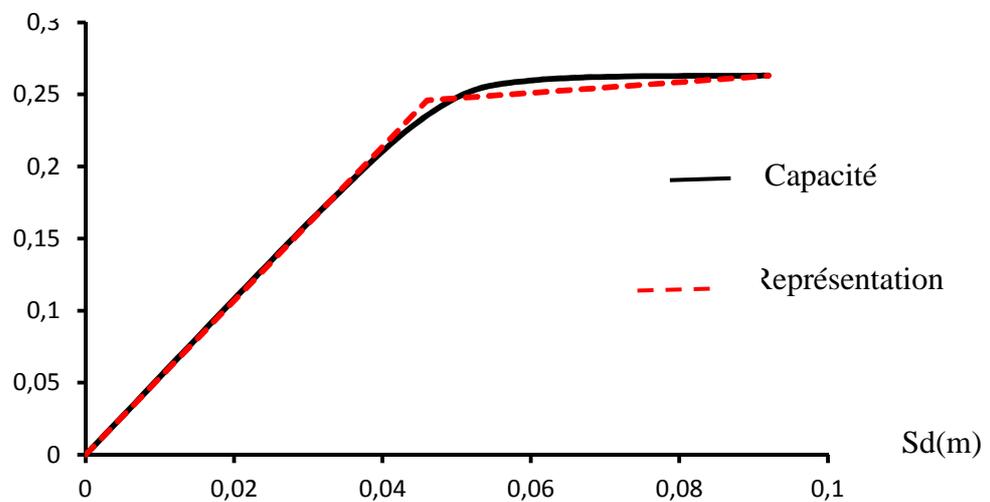


Figure IV. 3 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

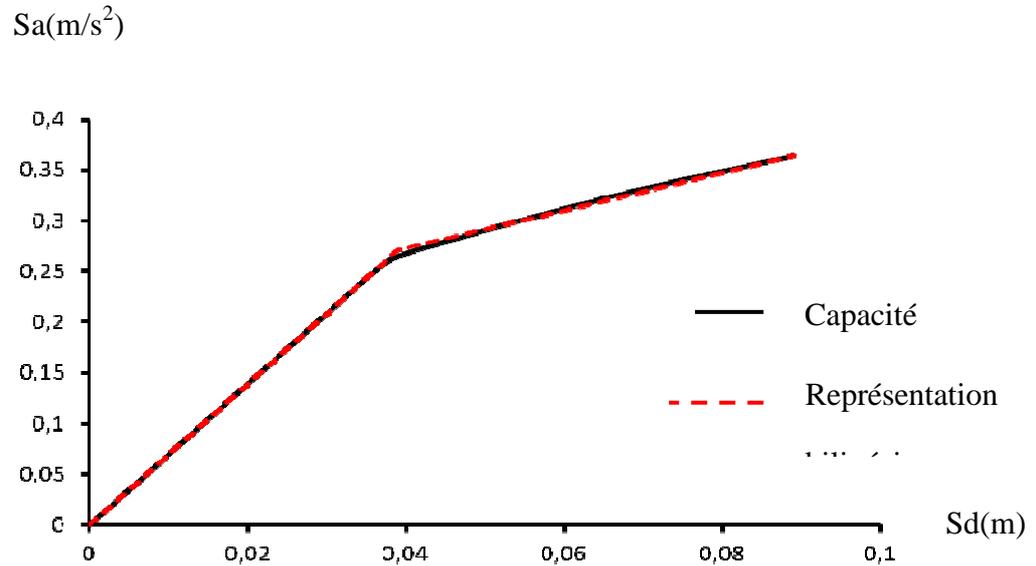


Figure IV. 3 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.2)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,245	0,046	0,263	0,092
YY	0,270	0,039	0,364	0,089

Tableau IV.2. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.2.1.3 : Evaluation du point de performance de la structure 1:

IV.2.1.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.3). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,0184	0,0156
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,0368	0,0312
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,0575	0,0515
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,069	0,06675
R5	$S_d=S_{du}$	0,092	0,089

Tableau IV.3.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.1.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.4et IV.5) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

$$S_a(m/s^2)$$

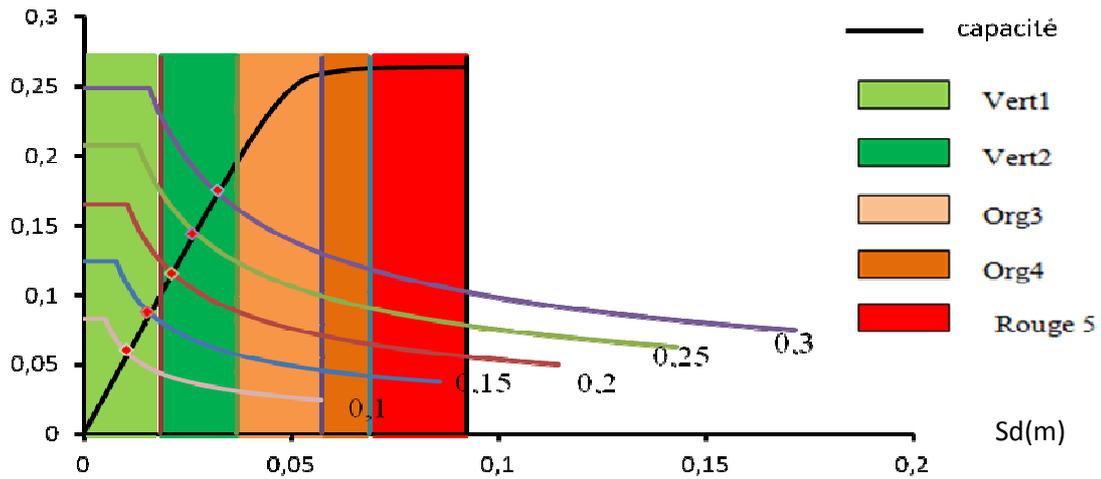


Figure IV.5 : Points de performances selon la direction (xx).

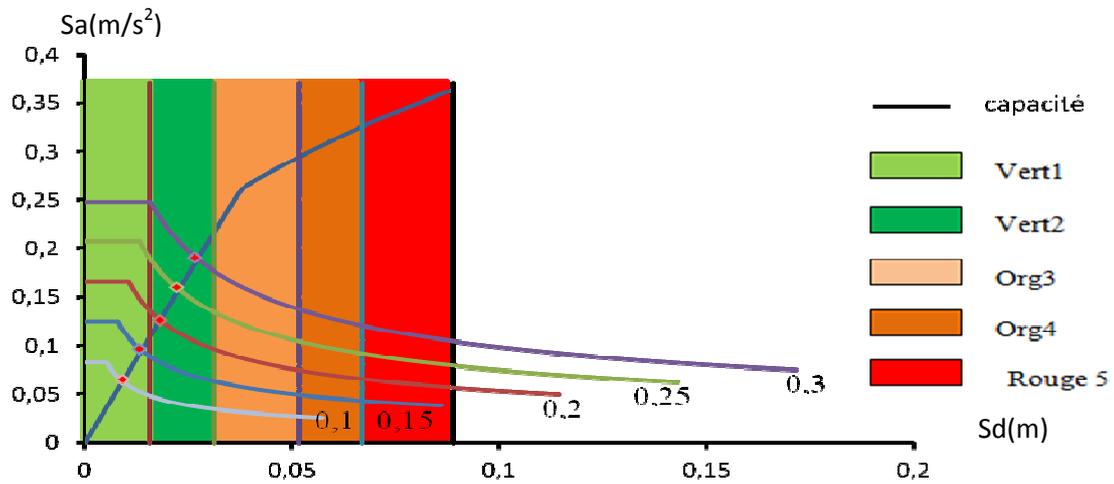


Figure IV.6 : Points de performances selon la direction (yy).

Pour une accélération de 0,3g le point de performance de cette structure 1 qui est régulière en plan se situe dans le vert 2 selon (xx) et (yy).

IV.2.2. structure 2 :

IV.2.2.1. courbe de capacité :

	Pas de force	S_d (m)	$S_a(m/s^2)$
Direction (xx)	1	0	0
	2	0,025	0,172
	3	0,036	0,242
	4	0,039	0,249

	5	0,042	0,251
	6	0,075	0,253
Direction (yy)	1	0	0
	2	0,021	0,191
	3	0,06	0,441
	4	0,067	0,465
	5	0,068	0,469
	6	0,075	0,486
	7	0,076	0,487
	8	0,077	0,488
	9	0,08	0,503
	10	0,081	0,505
	11	0,083	0,513

Tableau IV.4. Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.7 et IV.8) suivant les deux directions sont donnés par le (tableau IV.4).

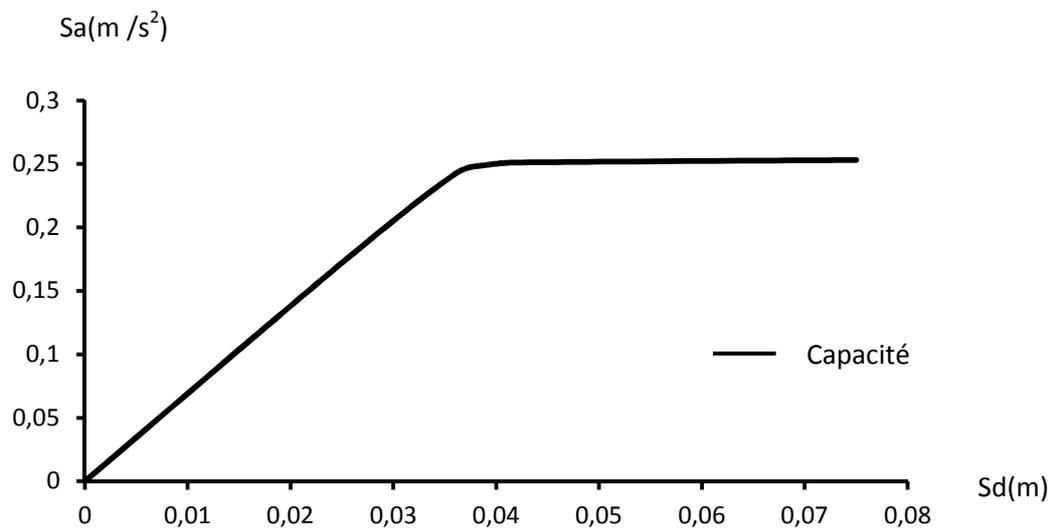


Figure IV.7 : courbe de capacité selon la direction (xx).

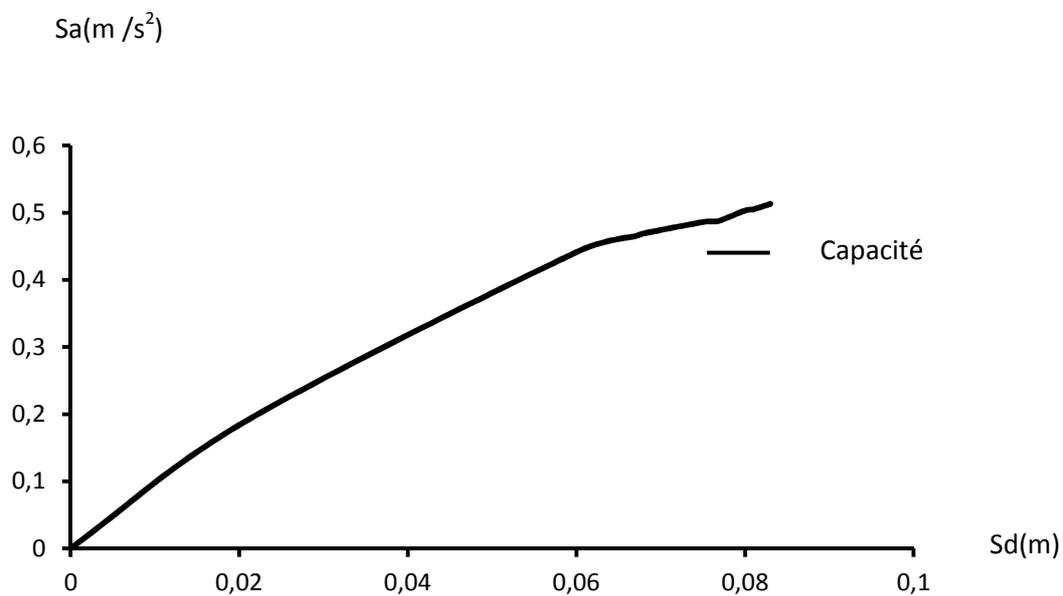


Figure IV.8 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.2.2.2. Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.9 et IV.10)

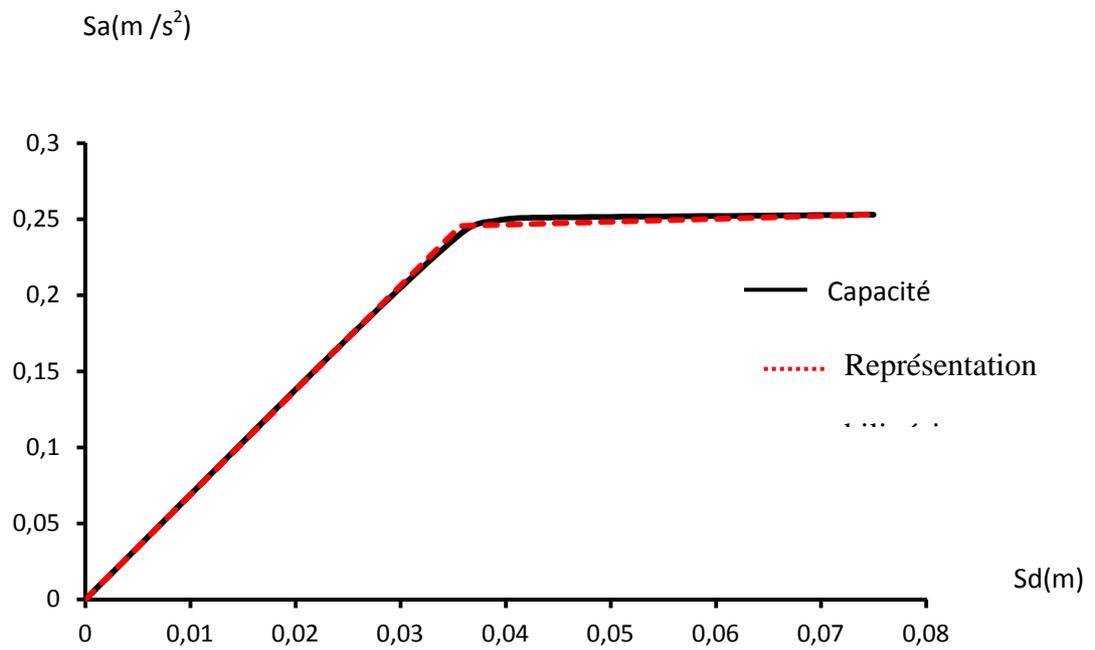


Figure IV. 9 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

$S_a(m/s^2)$

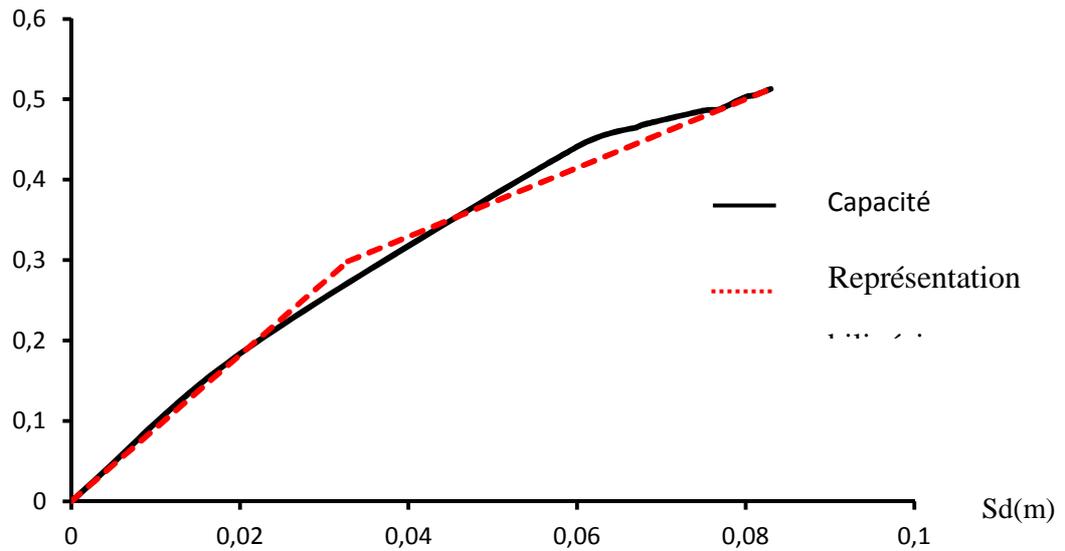


Figure IV. 10 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.5)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,245	0,0357	0,253	0,075
YY	0,303	0,0328	0,513	0,083

Tableau IV.5. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.2.2.3 : Evaluation du point de performance de la structure 2:

IV.2.2.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.6). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,0142	0,013
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,0285	0,026
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,0455	0,045
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,0562	0,062
R5	$S_d=S_{du}$	0,075	0,083

Tableau IV.6.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.2.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.11 et IV.12) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

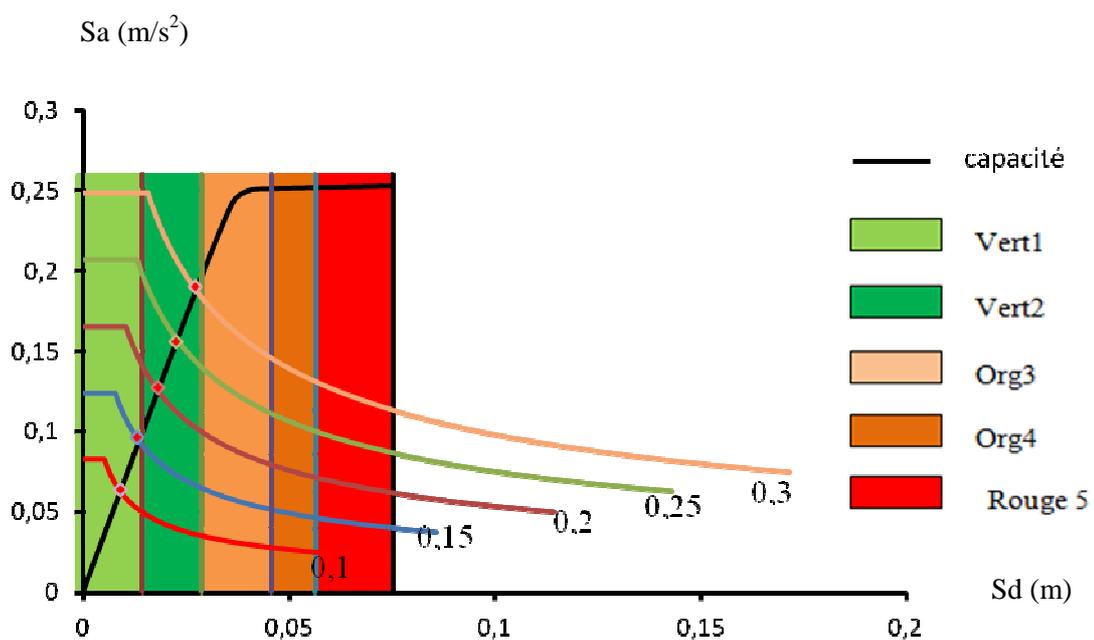


Figure IV.11 : Points de performances selon la direction (xx).

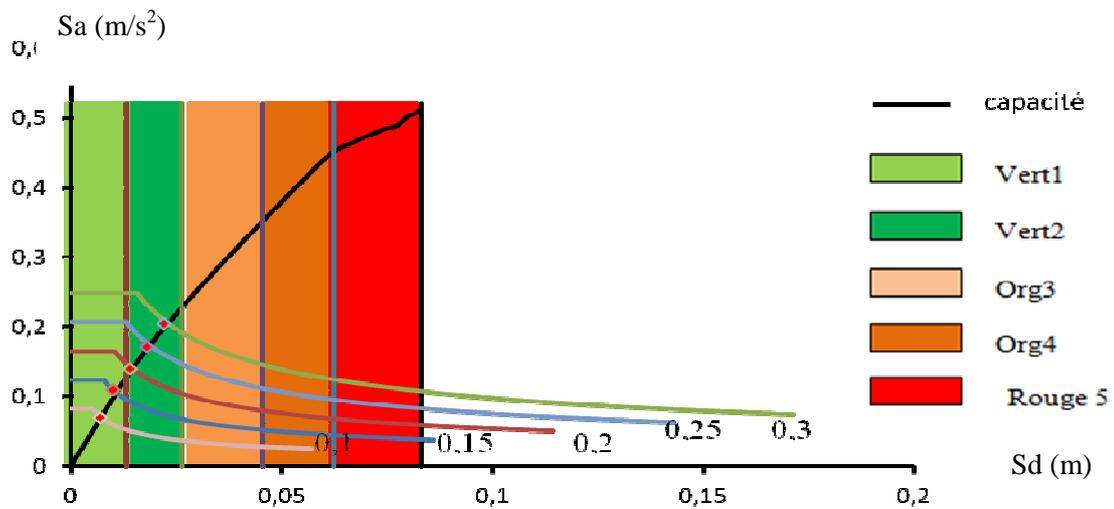


Figure IV.12 : Points de performances selon la direction (yy).

Face à une accélération $A=0,3g$ le point de performance de cette structure qui est considérée comme régulière est dans le vert 2 suivant (xx) et (yy).

IV.2. 3. Structure 3:

IV.2.3.1. courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.13et IV.14) suivant les deux directions sont donnes par le (tableau IV.7).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s ²)
Direction (xx)	1	0	0
	2	0,02	0,156
	3	0,035	0,25
	4	0,37	0,256
	5	0,046	0,264
	6	0,077	0,268
Direction (yy)	1	0	0
	2	0,015	0,138
	3	0,017	0,153

	4	0,017	0,156
	5	0,018	0,162
	6	0,018	0,164
	7	0,018	0,165
	8	0,02	0,177
	9	0,028	0,212
	10	0,041	0,252

Tableau IV.7. Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.

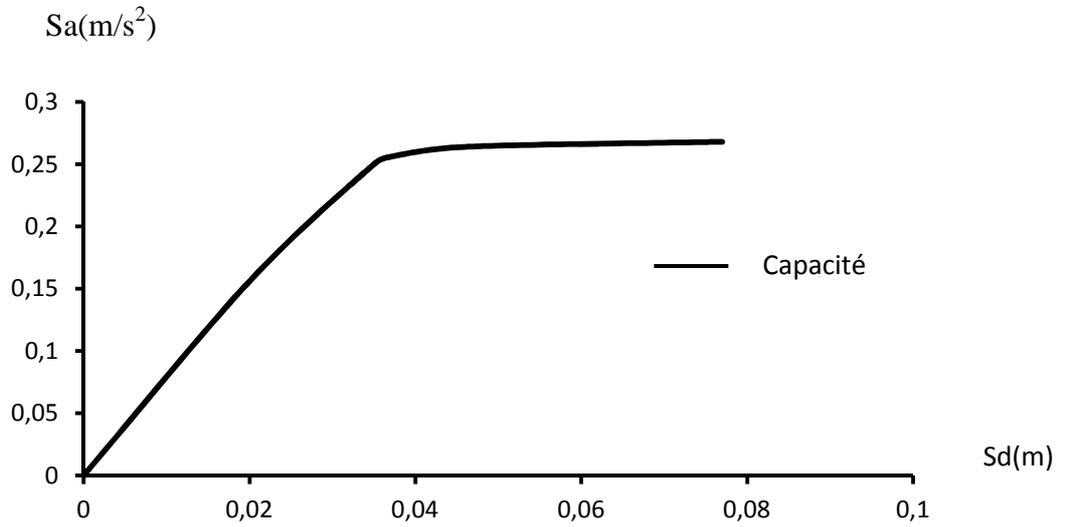


Figure IV.13 : courbe de capacité selon la direction (xx).

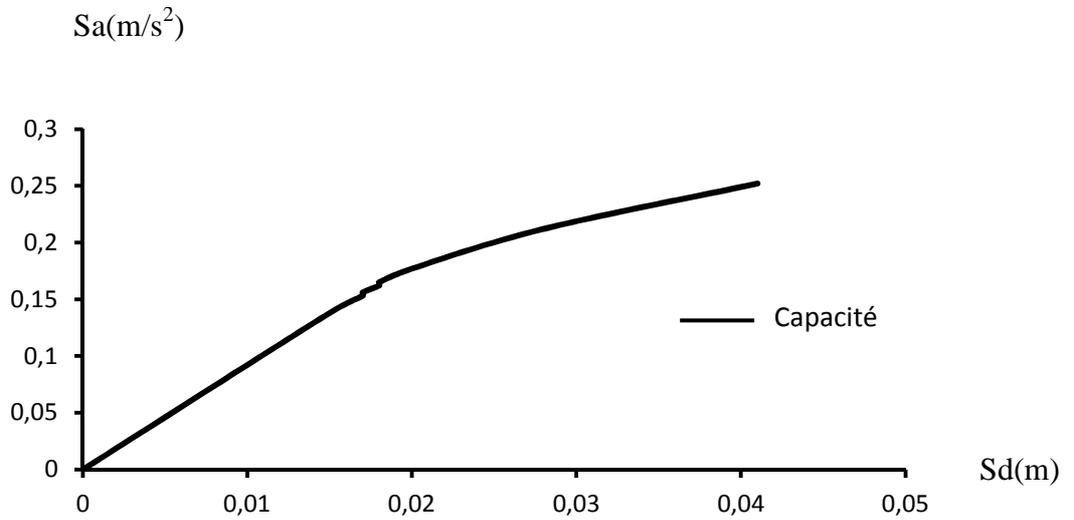


Figure IV.14 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.1. 3.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.15 et IV.16)

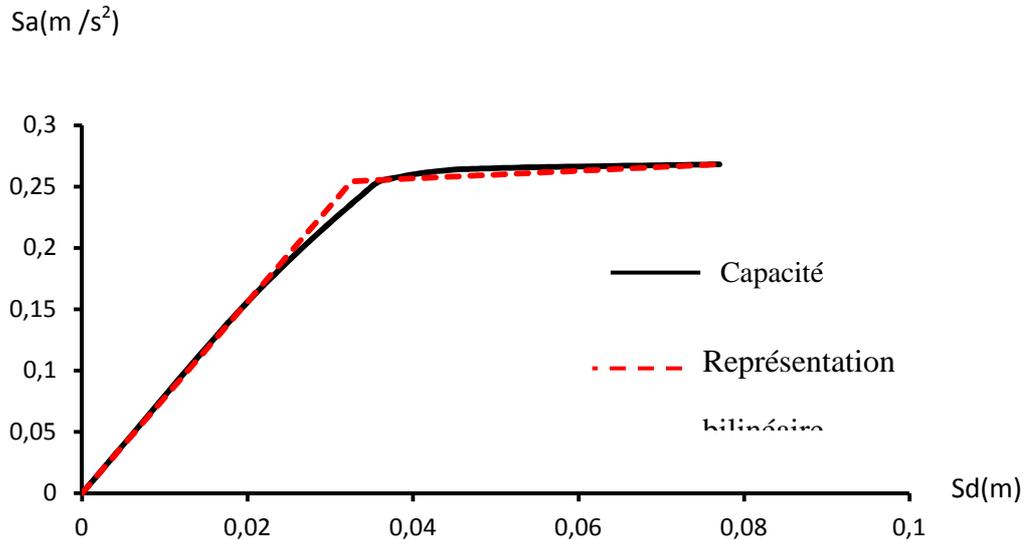


Figure IV. 15 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

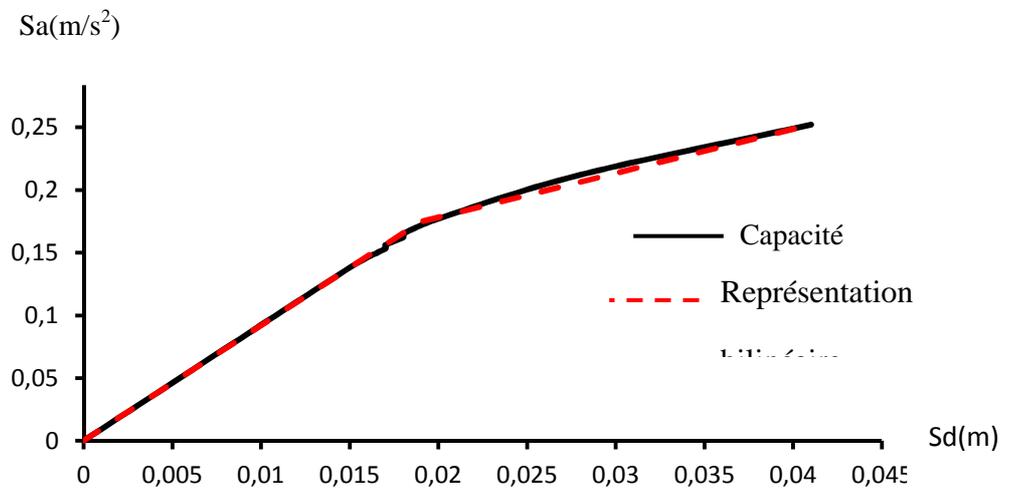


Figure IV. 16 : Représentation bilinéaire de la courbe de capacité suivant la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.8)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{ay}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{au}(m)$
-----------	-----------------	-------------	-----------------	-------------

XX	0,245	0,0357	0,253	0,075
YY	0,303	0,0328	0,513	0,083

Tableau IV.8. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.2.3.3 : Evaluation du point de performance de la structure 3:

IV.2.3.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.9). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,013	0,0076
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,026	0,0152
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,043	0,0245
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,057	0,0307
R5	$S_d=S_{du}$	0,077	0,041

Tableau IV.9.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.3.4. Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.17 et IV.18) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

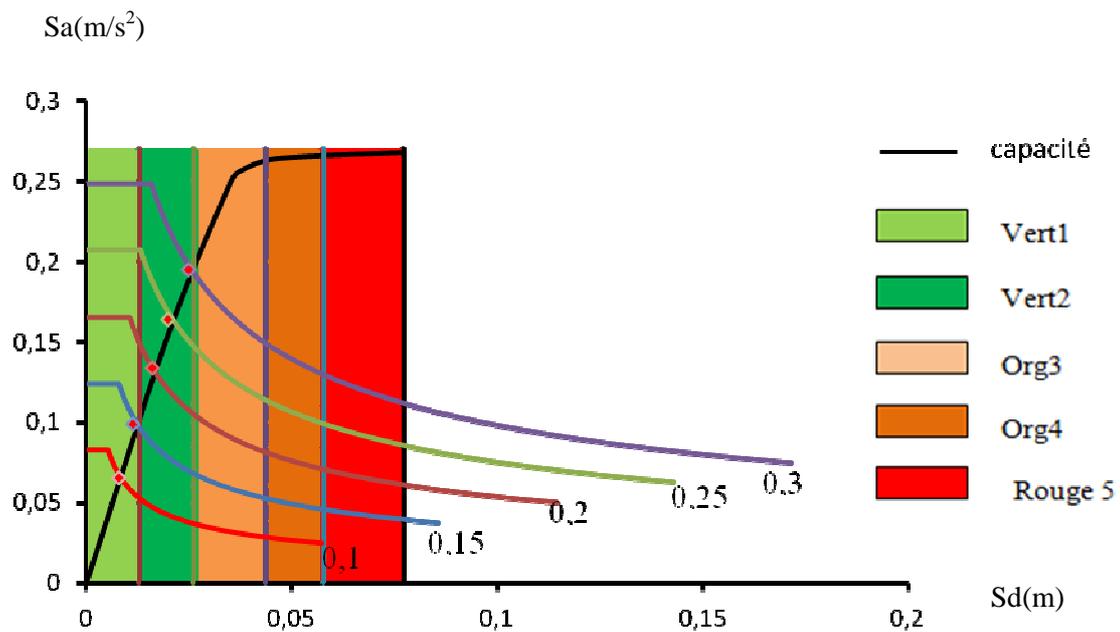


Figure IV.17 : Points de performances selon la direction (xx).

$S_a(m/s^2)$

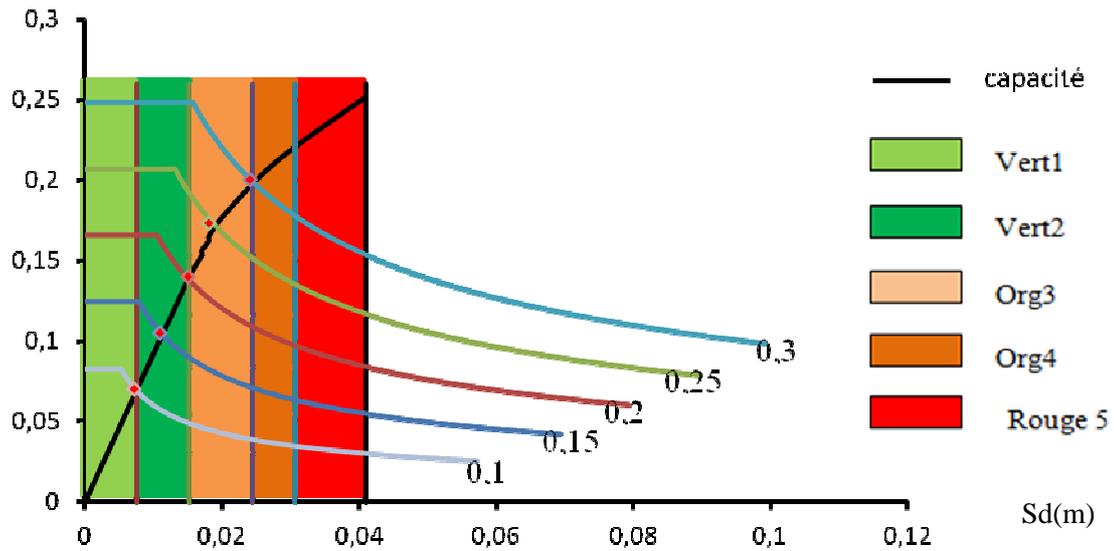


Figure IV.18 : Points de performances selon la direction (yy).

Pour une accélération de $0,3g$, le point de performance de cette structure 3 qui est encore régulière en plan ($L_x/L_y = 4$) se situe dans le vert 2 (à la limite) suivant (xx) et à la limite de orange 3 suivant (yy).

IV .3. Etude des structures irrégulières :

IV.3.1. structure 4 :

IV.3.1.1 courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.19et IV.20) suivant les deux directions sont donnes par le (tableau IV.10).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s ²)
Di re	1	0	0

	2	0,02	0,155
	3	0,035	0,252
	4	0,038	0,259
	5	0,042	0,263
	6	0,075	0,267
	Direction (yy)	1	0
2		0,015	0,133
3		0,016	0,144
4		0,017	0,157
5		0,021	0,177
6		0,04	0,244

Tableau IV.10. Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.

Sa(m/s²)

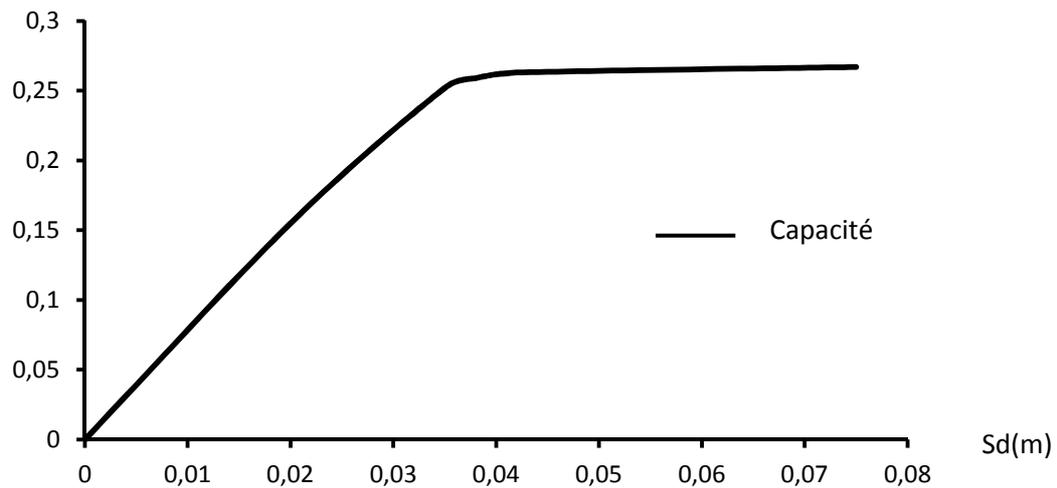


Figure IV.19 : courbe de capacité selon la direction (xx).

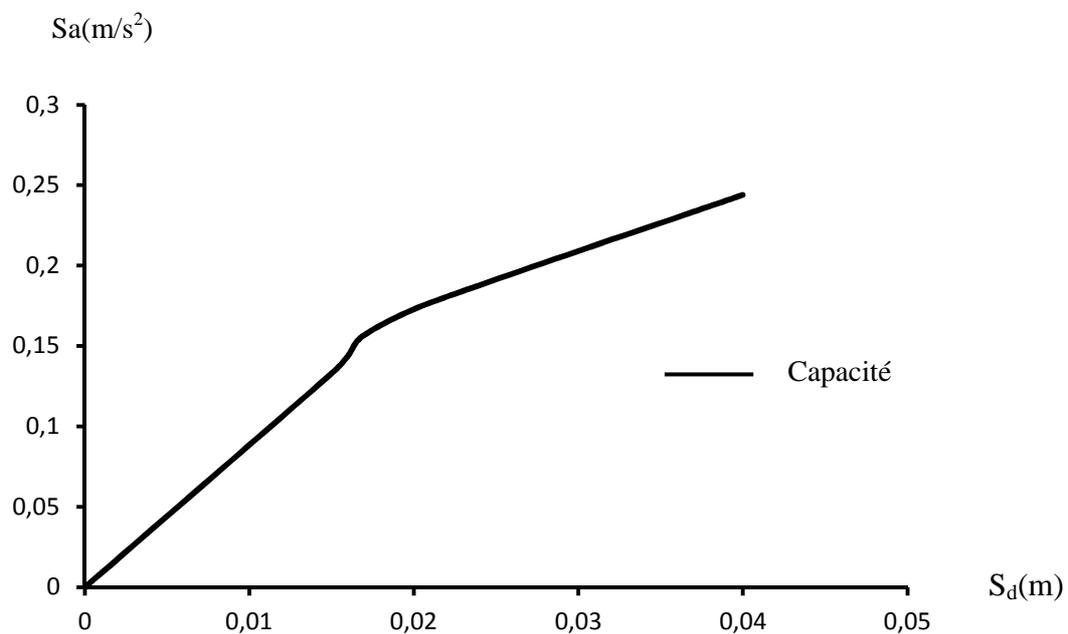


Figure IV.20 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.3. 1.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.21 et IV.22).

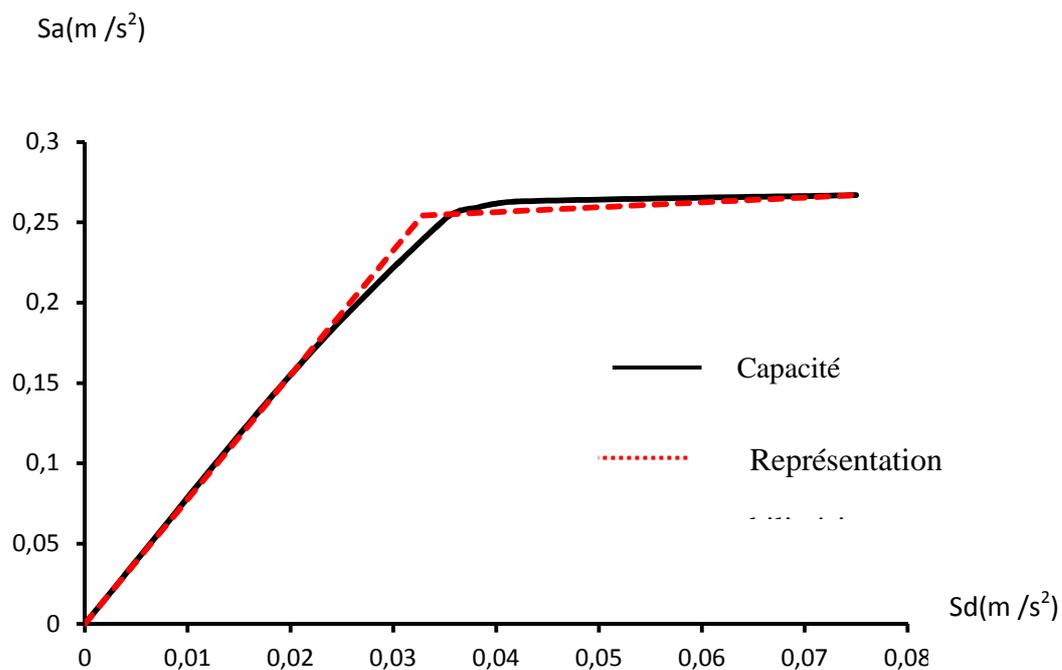


Figure IV. 21 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

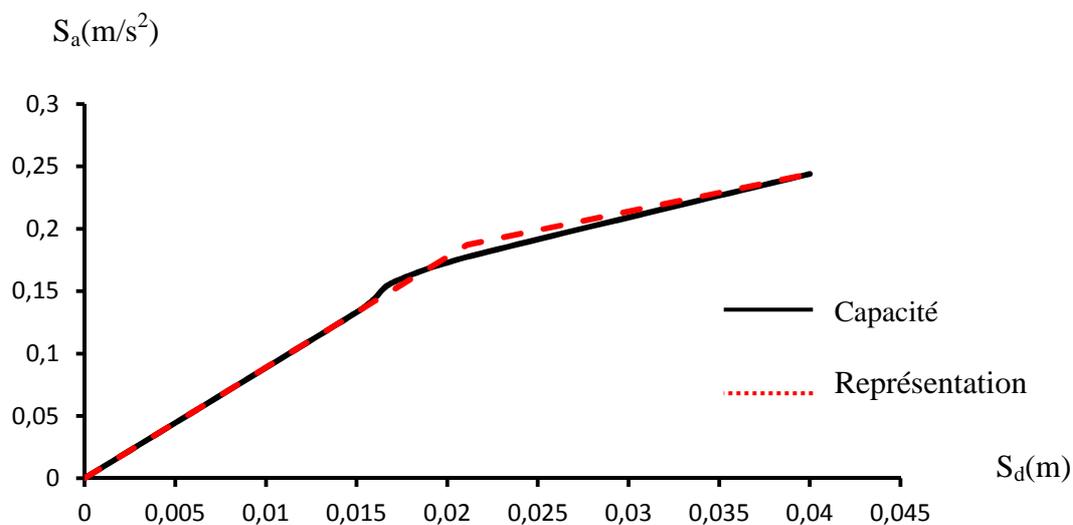


Figure IV. 22 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.8)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,254	0,0328	0,267	0,075
YY	0,187	0,0211	0,244	0,04

Tableau IV.11. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.3.1.3 : Evaluation du point de performance de la structure 4:

IV.3.1.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.12). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,013	0,0084
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,026	0,0168
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,043	0,0258
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,056	0,03
R5	$S_d=S_{du}$	0,075	0,04

Tableau IV.12.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.3.4. Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.23 et IV.24) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

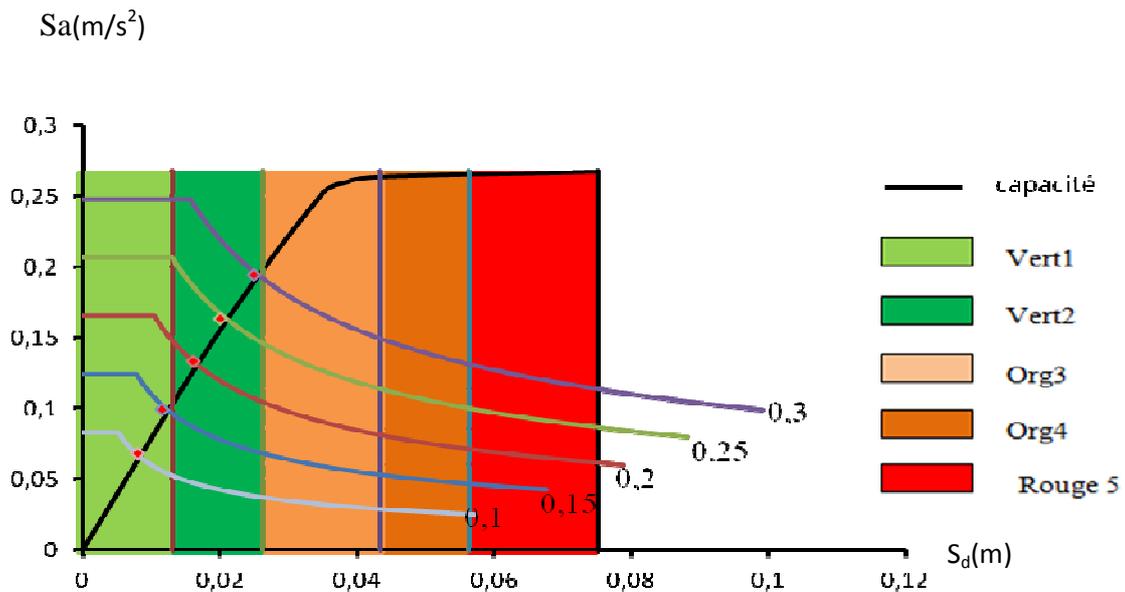


Figure IV.23 : Points de performances selon la direction (xx).

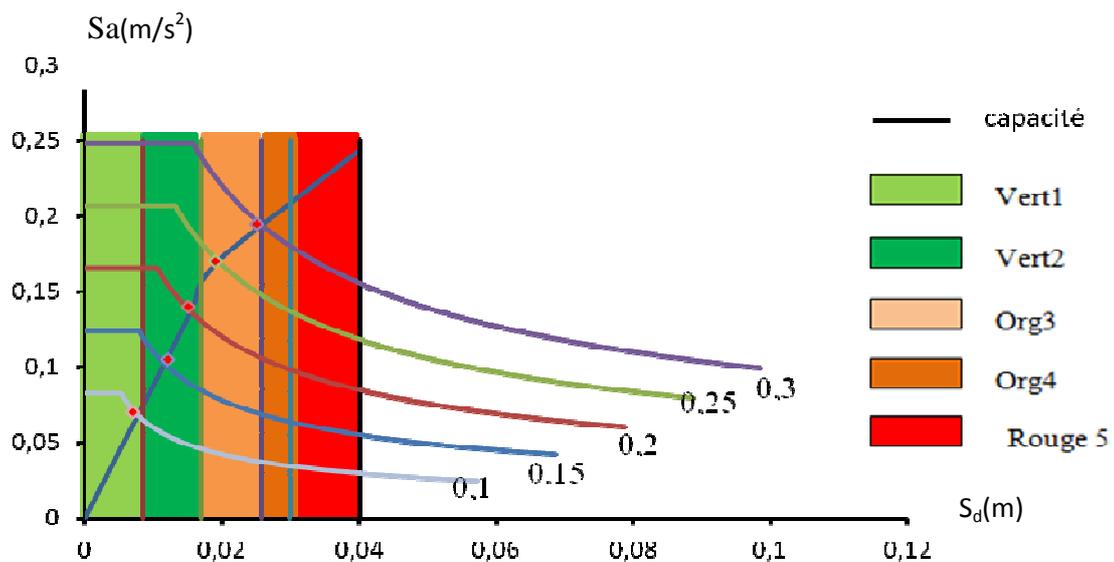


Figure IV.24 : Points de performances selon la direction (yy).

Face à une accélération de 0,3g, le point de performance de cette structure qui a un élancement $L_x/L_y = 4,36$ est dans le vert 2 suivant (xx), par contre dans le sens (yy) le point de performance est à limite de orange 3.

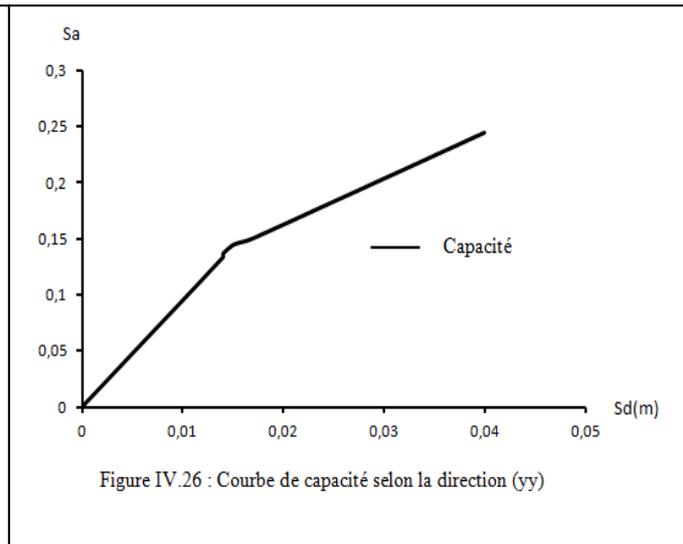
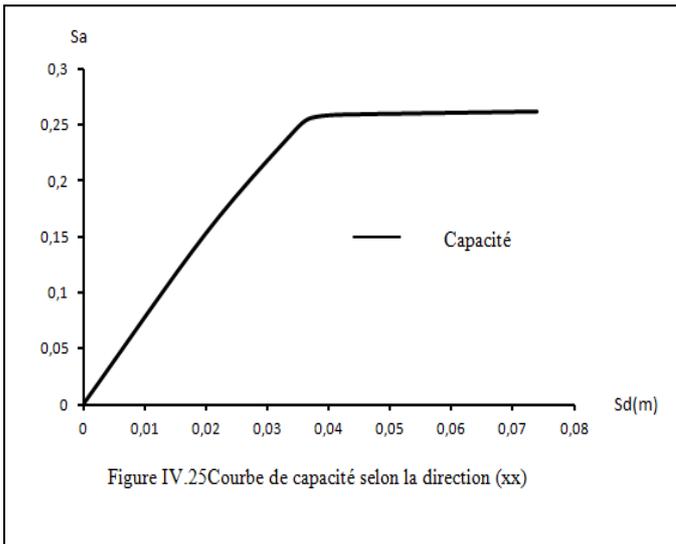
IV.3.2. structure 5 :

IV.3.2.1 courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.25et IV.26) suivant les deux directions sont donnés par le (tableau IV.13).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s ²)
Direction (xx)	1	0	0
	2	0,02	0,153
	3	0,035	0,248
	4	0,037	0,256
	5	0,041	0,259
	6	0,074	0,262
Direction (yy)	1	0	0
	2	0,014	0,133
	3	0,014	0,136
	4	0,015	0,144
	5	0,016	0,147
	6	0,017	0,15
	7	0,04	0,244

Tableau IV.1 3. Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.



IV.3. 2.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.27 et IV.28).

Sa

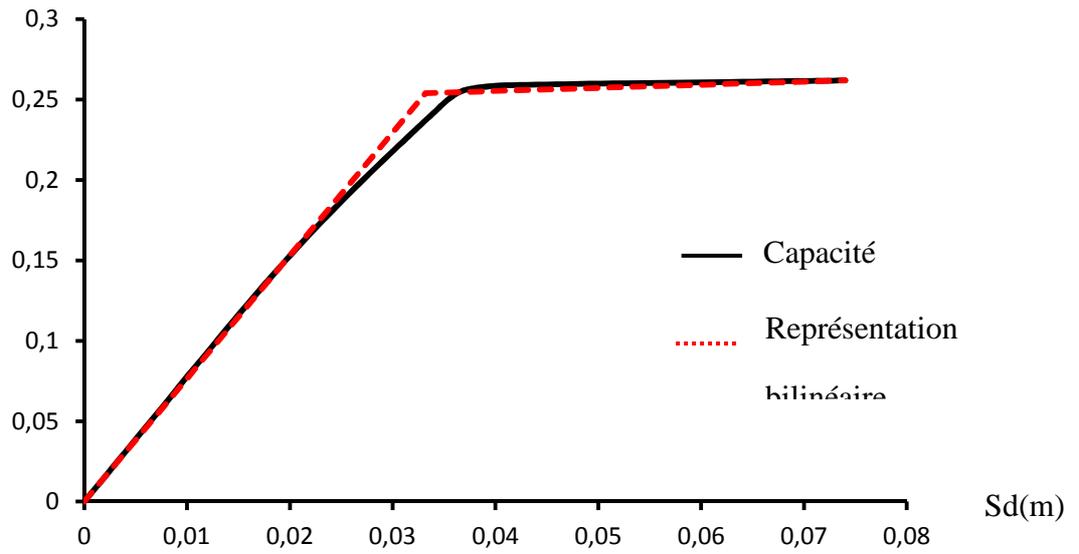


Figure IV. 27 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

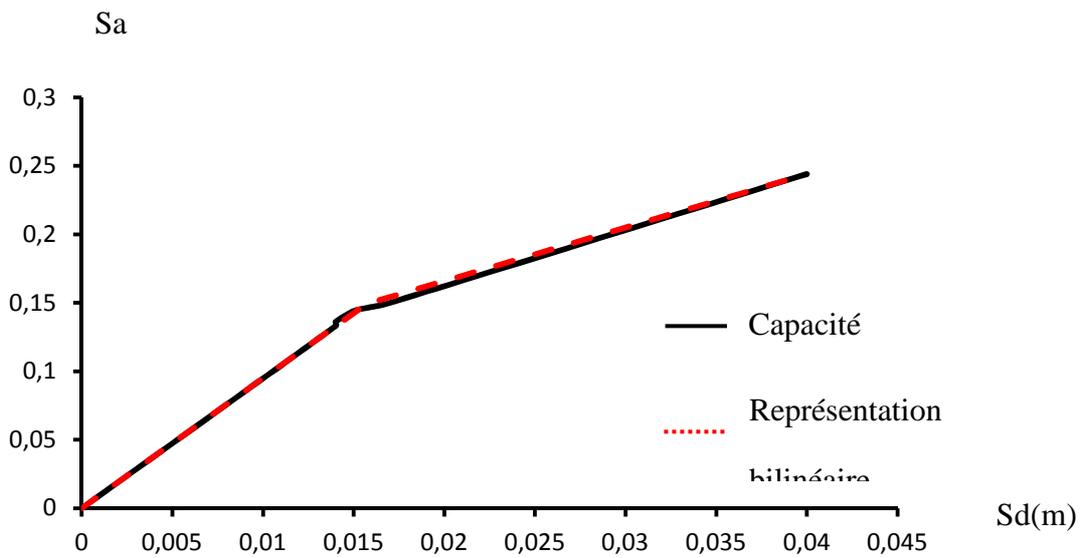


Figure IV. 28 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.8)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,253	0,0332	0,262	0,074
YY	0,149	0,0157	0,244	0,04

Tableau IV.14. Limites élastique et ultime suivant les deux directions

IV.3.2.3 : Evaluation du point de performance de la structure 5:

IV.3.2.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.12). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,013	0,006
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,026	0,012
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,043	0,021
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,055	0,03
R5	$S_d=S_{du}$	0,074	0,04

Tableau IV.15.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.3.2.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.29et IV.30) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

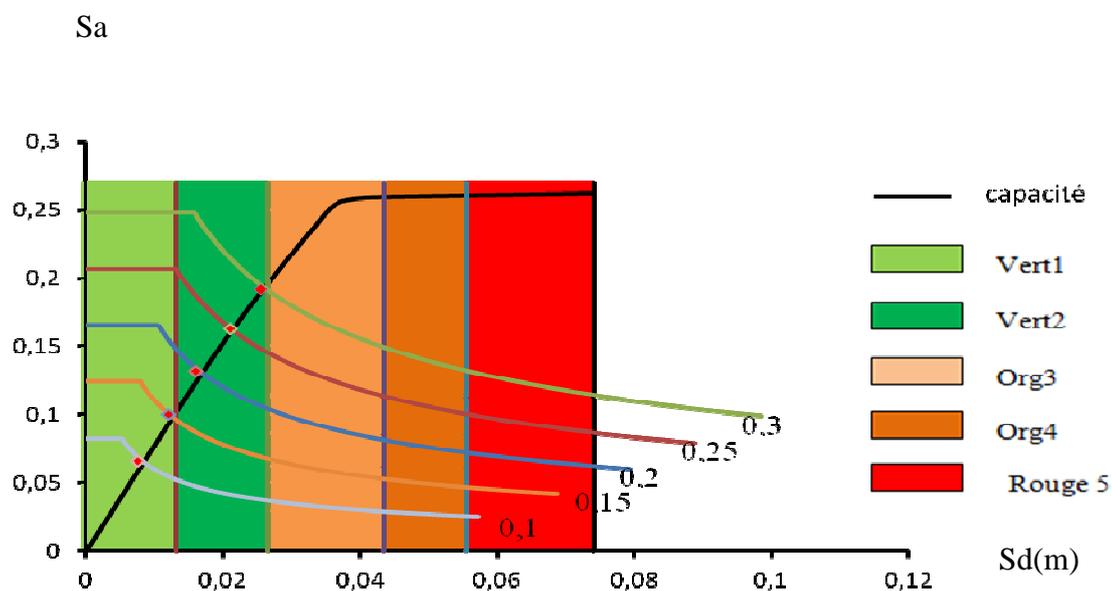


Figure IV.29 : Points de performances selon la direction (xx).

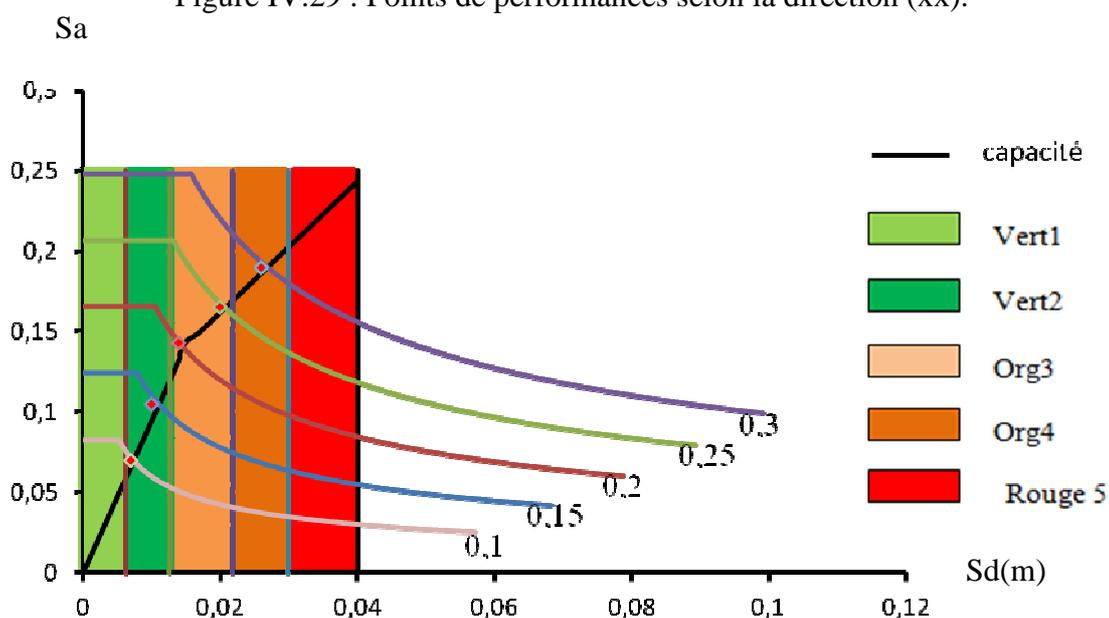


Figure IV.30 : Points de performances selon la direction (yy).

Pour une accélération de 0.3g, le point de performance de cette structure qui est irrégulière en plan ($L_x/L_y = 4,72$) atteint la limite de vert 2 selon (xx), et dans l'orange 4 suivant (yy).

- ❖ Passent d'un rapport de $Lx/Ly = 4,36$ à $Lx/Ly = 4,72$ le point de performance a passé de orange 3 à orange 4 suivant la direction (xx).

Chapitre IV : présentation des résultats

IV .1 .Introduction :

Dans notre cas, le calcul de la vulnérabilité des structures étudiée se fera par la méthode pushover qui consiste à superposer la demande sismique à la capacité des structures.

IV .2. Etude des structures régulières :

IV.2.1. structure 1 :

IV.2.1.1 courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.1 et IV.2) suivant les deux directions sont résumées dans le (tableau IV.1).

	Pas de force	S_d (m)	$S_a(m/s^2)$
Direction(YY)	1	0	0
	2	0,032	0 ,171
	3	0,048	0,242
	4	0,061	0,26
	5	0,092	0,263
Direction(YY)	1	0	0
	2	0,035	0,243
	3	0,039	0 ,265
	4	0,065	0,322
	5	0,089	0,364

Tableau IV.1.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions

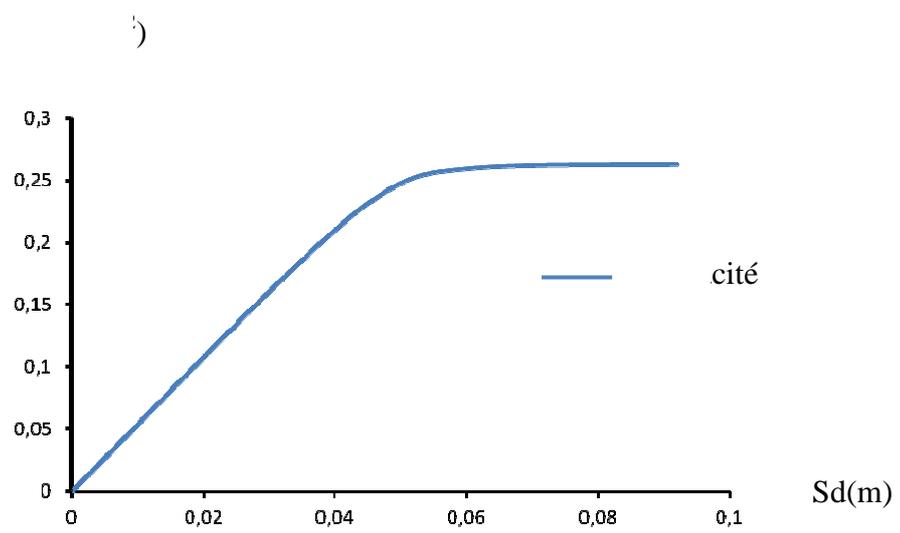


Figure IV.1 : courbe de capacité selon la direction (xx).

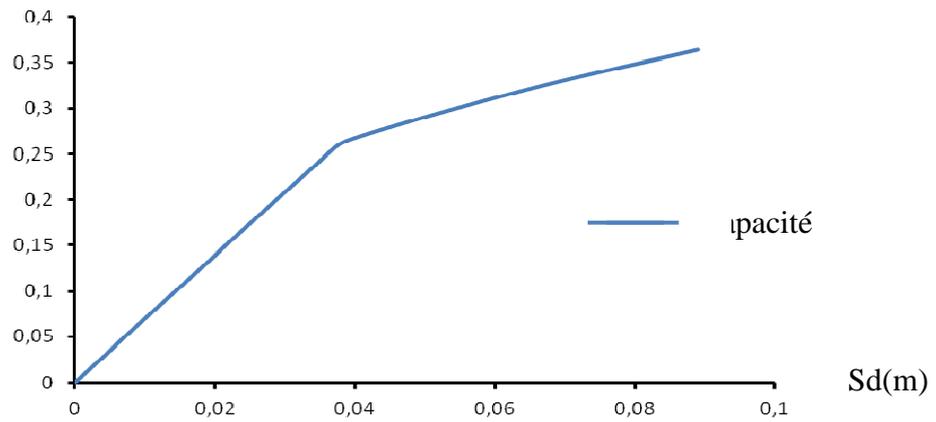


Figure IV.2 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.2.1.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

Une représentation bilinéaire est développée tel que l'aire sous la courbe de capacité soit la même que celle sous la courbe bilinéaire qui nous permet de déterminer les limites élastique (S_{dy} , S_{ay}) figure (IV.3 et IV.4)

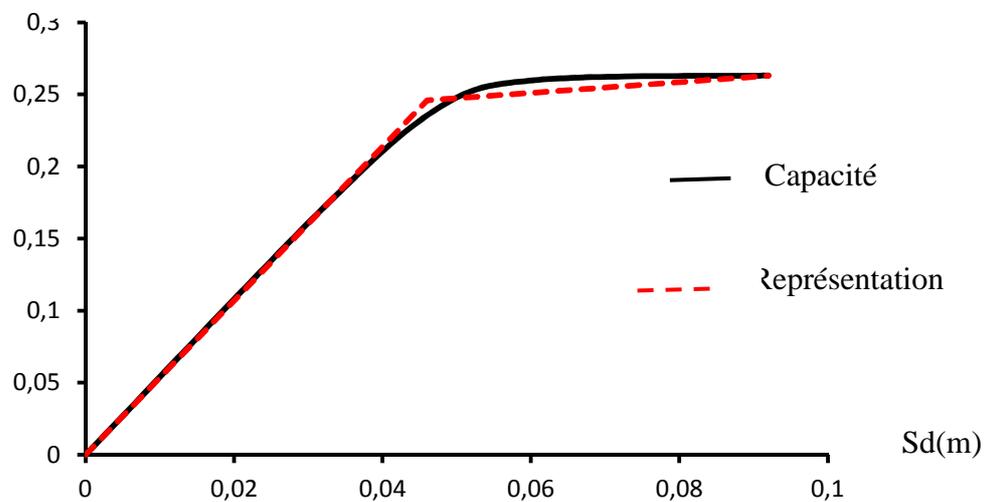


Figure IV. 3 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

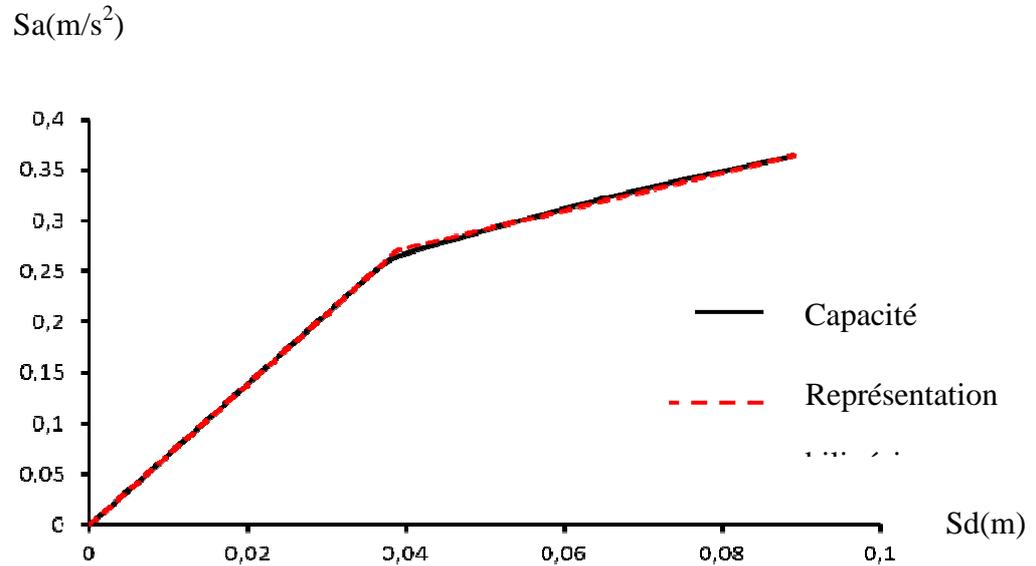


Figure IV. 3 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.2)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,245	0,046	0,263	0,092
YY	0,270	0,039	0,364	0,089

Tableau IV.2. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.2.1.3 : Evaluation du point de performance de la structure 1:

IV.2.1.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.3). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,0184	0,0156
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,0368	0,0312
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,0575	0,0515
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,069	0,06675
R5	$S_d=S_{du}$	0,092	0,089

Tableau IV.3.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.1.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.4et IV.5) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

$$S_a(m/s^2)$$

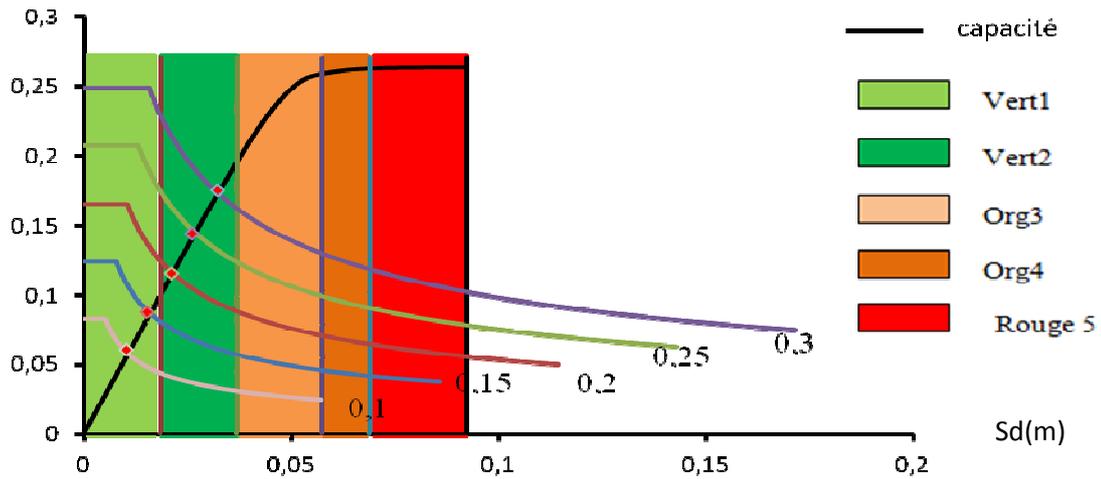


Figure IV.5 : Points de performances selon la direction (xx).

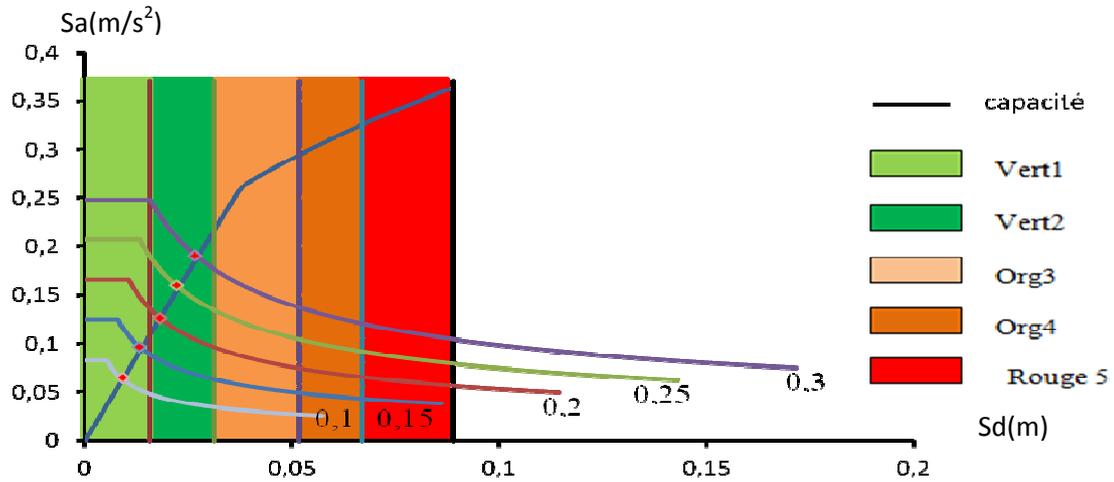


Figure IV.6 : Points de performances selon la direction (yy).

Pour une accélération de 0,3g le point de performance de cette structure 1 qui est régulière en plan se situe dans le vert 2 selon (xx) et (yy).

IV.2.2. structure 2 :

IV.2.2.1. courbe de capacité :

	Pas de force	S_d (m)	$S_a(m/s^2)$
Direction (xx)	1	0	0
	2	0,025	0,172
	3	0,036	0,242
	4	0,039	0,249

	5	0,042	0,251
	6	0,075	0,253
Direction (yy)	1	0	0
	2	0,021	0,191
	3	0,06	0,441
	4	0,067	0,465
	5	0,068	0,469
	6	0,075	0,486
	7	0,076	0,487
	8	0,077	0,488
	9	0,08	0,503
	10	0,081	0,505
	11	0,083	0,513

Tableau IV.4.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.7 et IV.8) suivant les deux directions sont donnés par le (tableau IV.4).

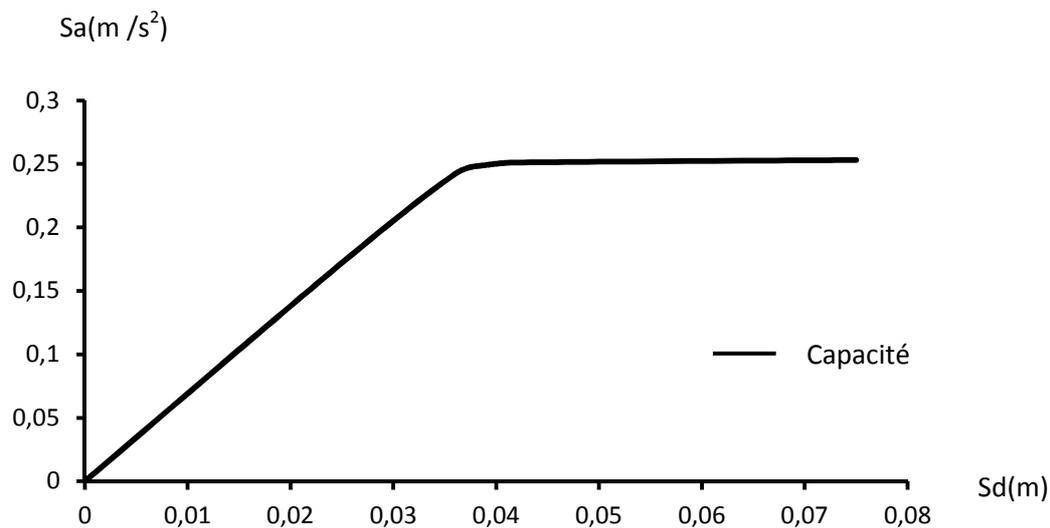


Figure IV.7 : courbe de capacité selon la direction (xx).

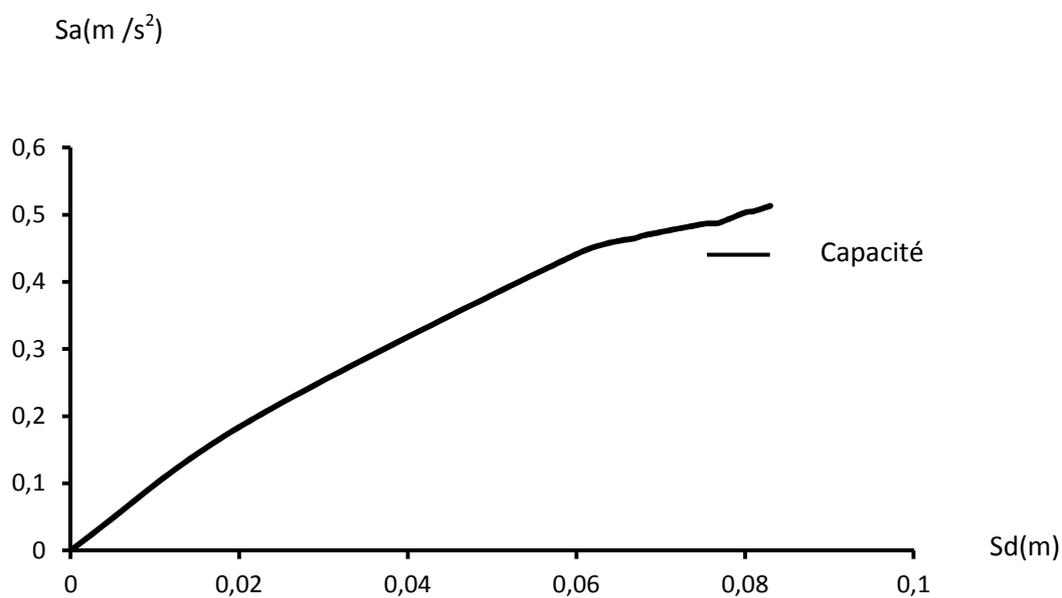


Figure IV.8 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.2.2.2. Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.9 et IV.10)

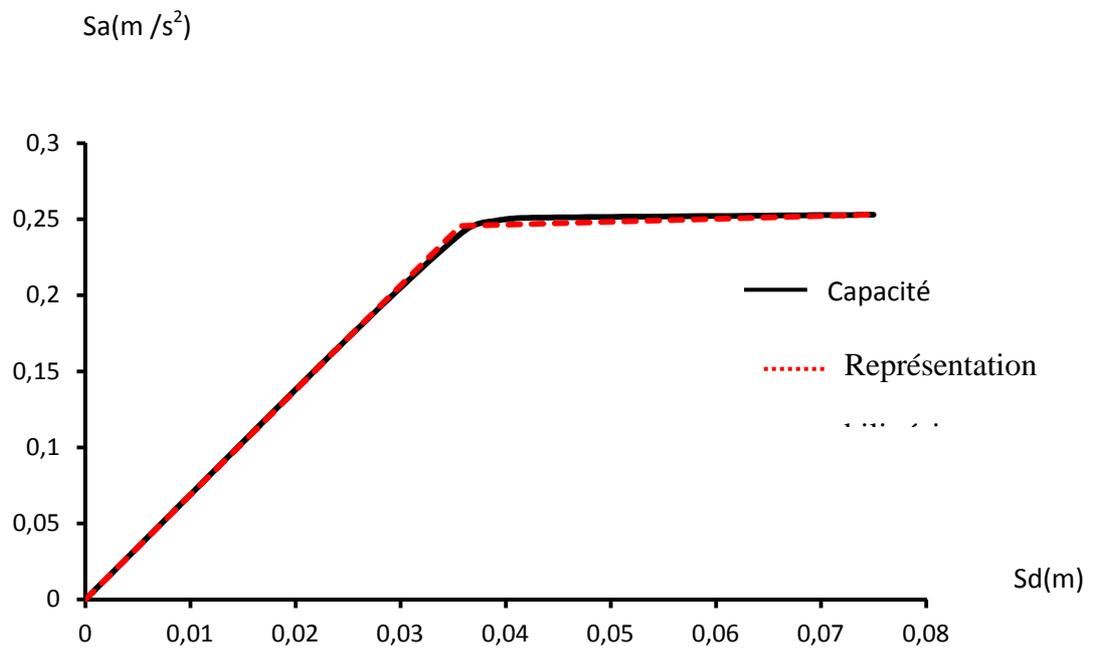


Figure IV. 9 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

$S_a(m/s^2)$

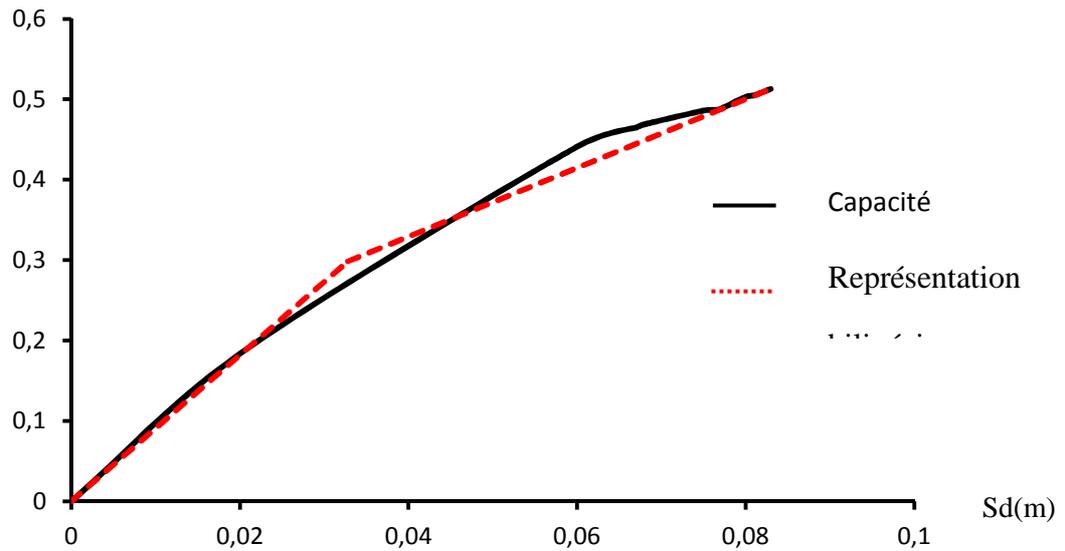


Figure IV. 10 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.5)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,245	0,0357	0,253	0,075
YY	0,303	0,0328	0,513	0,083

Tableau IV.5. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.2.2.3 : Evaluation du point de performance de la structure 2:

IV.2.2.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.6). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,0142	0,013
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,0285	0,026
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,0455	0,045
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,0562	0,062
R5	$S_d=S_{du}$	0,075	0,083

Tableau IV.6.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.2.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.11 et IV.12) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

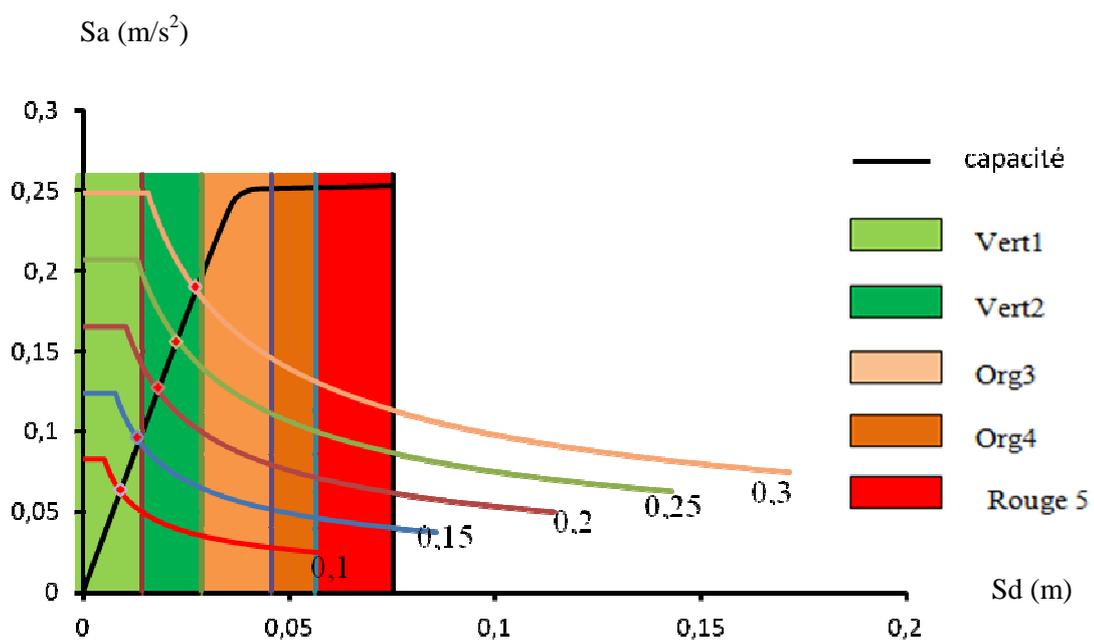


Figure IV.11 : Points de performances selon la direction (xx).

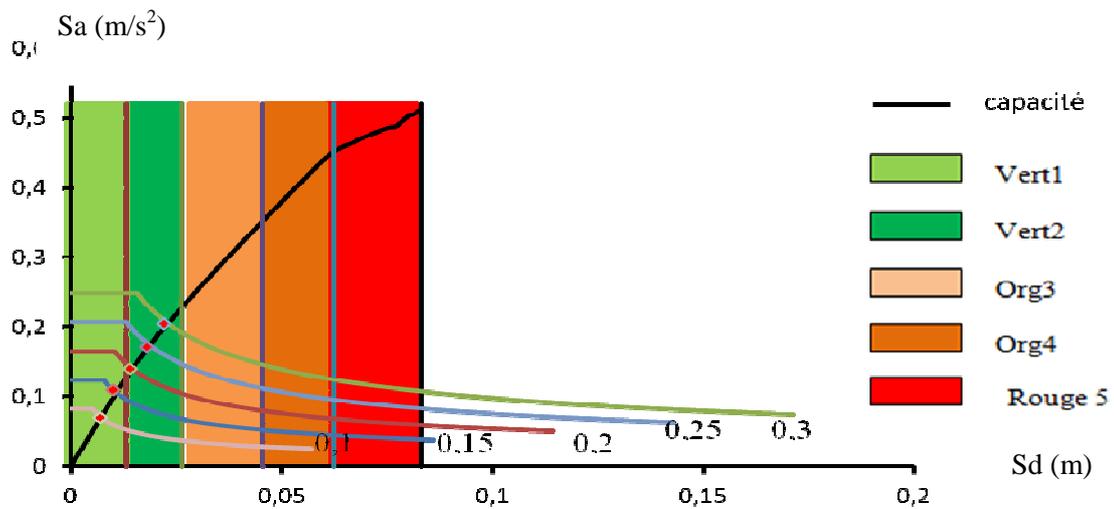


Figure IV.12 : Points de performances selon la direction (yy).

Face à une accélération $A=0,3g$ le point de performance de cette structure qui est considérée comme régulière est dans le vert 2 suivant (xx) et (yy).

IV.2. 3. Structure 3:

IV.2.3.1. courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.13et IV.14) suivant les deux directions sont donnes par le (tableau IV.7).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s ²)
Direction (xx)	1	0	0
	2	0,02	0,156
	3	0,035	0,25
	4	0,37	0,256
	5	0,046	0,264
	6	0,077	0,268
Direction (yy)	1	0	0
	2	0,015	0,138
	3	0,017	0,153

	4	0,017	0,156
	5	0,018	0,162
	6	0,018	0,164
	7	0,018	0,165
	8	0,02	0,177
	9	0,028	0,212
	10	0,041	0,252

Tableau IV.7. Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.

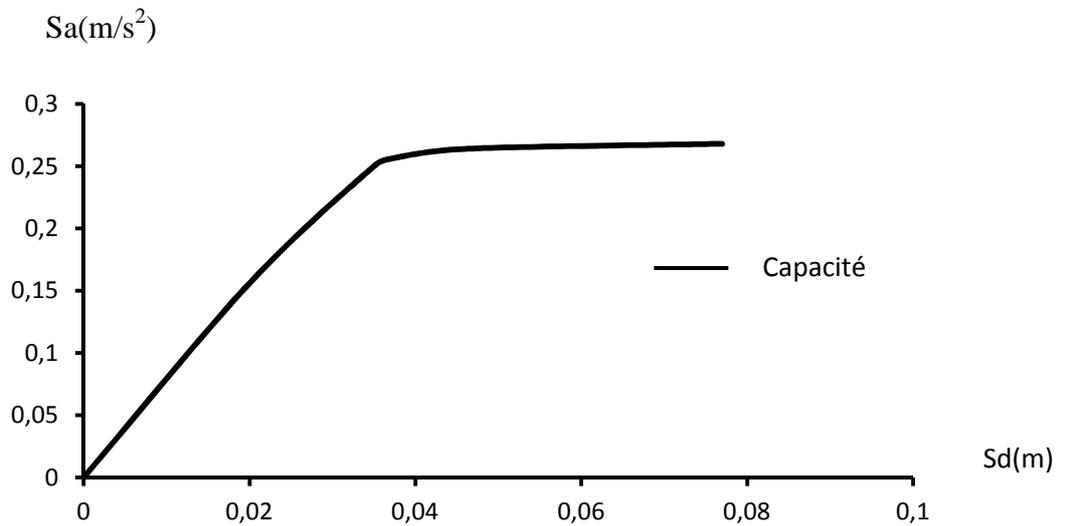


Figure IV.13 : courbe de capacité selon la direction (xx).

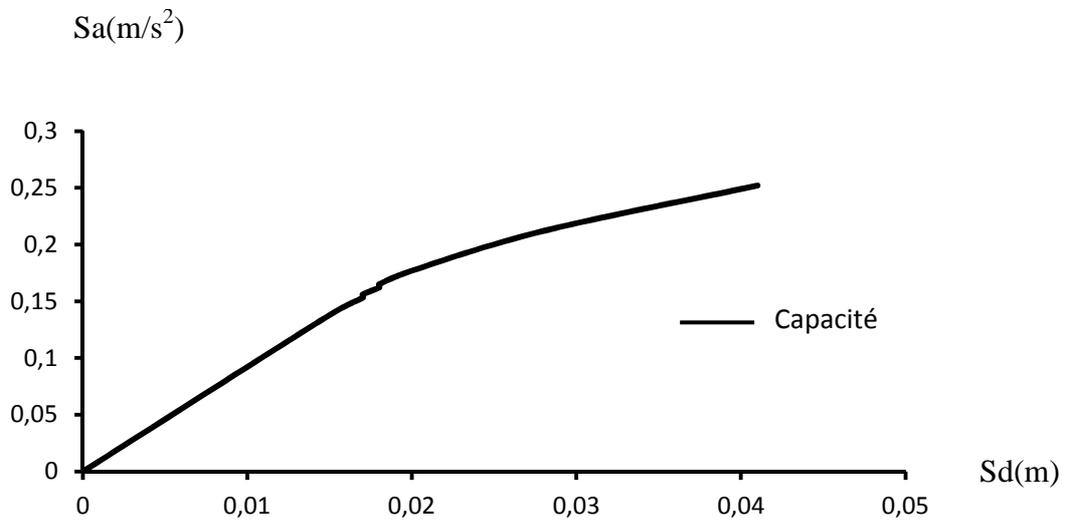


Figure IV.14 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.1. 3.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.15 et IV.16)

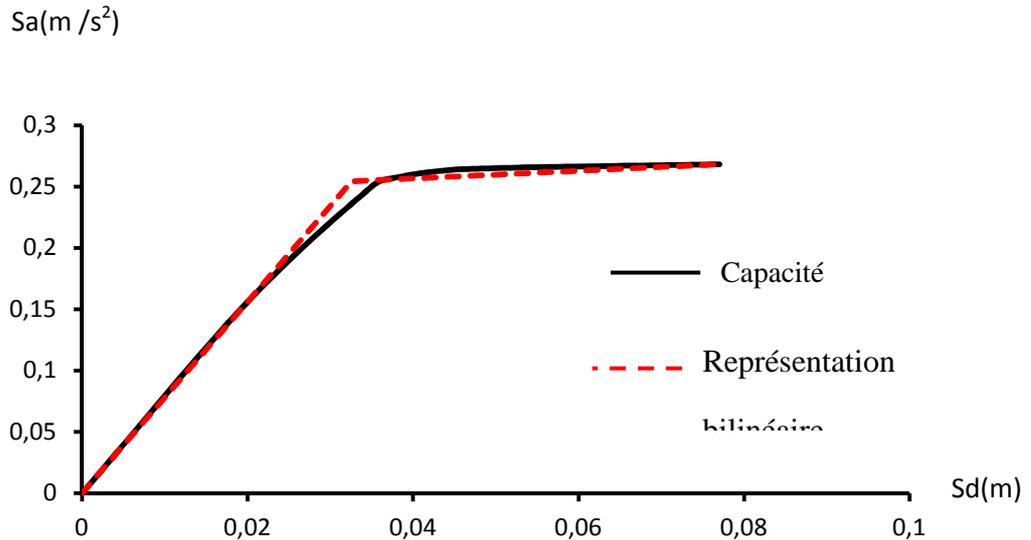


Figure IV. 15 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

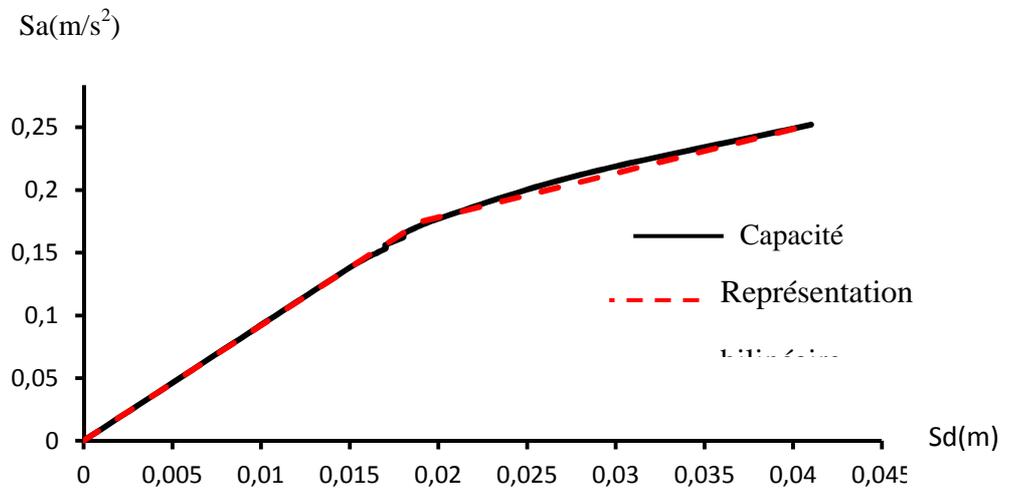


Figure IV. 16 : Représentation bilinéaire de la courbe de capacité suivant la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.8)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{ay}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{au}(m)$
-----------	-----------------	-------------	-----------------	-------------

XX	0,245	0,0357	0,253	0,075
YY	0,303	0,0328	0,513	0,083

Tableau IV.8. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.2.3.3 : Evaluation du point de performance de la structure 3:

IV.2.3.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.9). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,013	0,0076
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,026	0,0152
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,043	0,0245
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,057	0,0307
R5	$S_d=S_{du}$	0,077	0,041

Tableau IV.9.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.3.4. Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.17 et IV.18) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

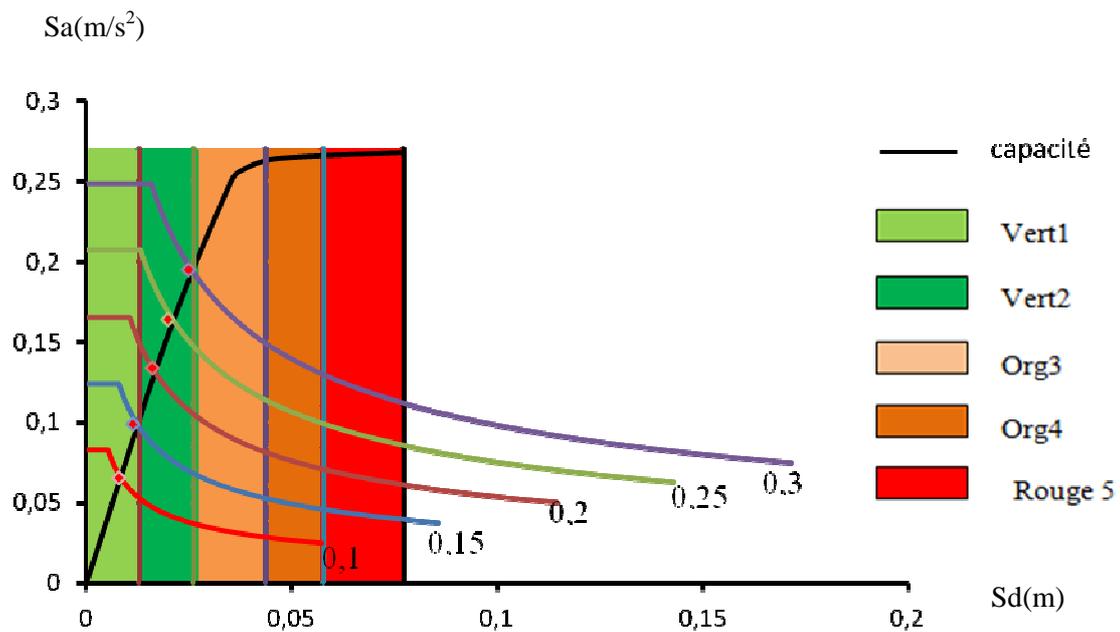


Figure IV.17 : Points de performances selon la direction (xx).

$S_a(m/s^2)$

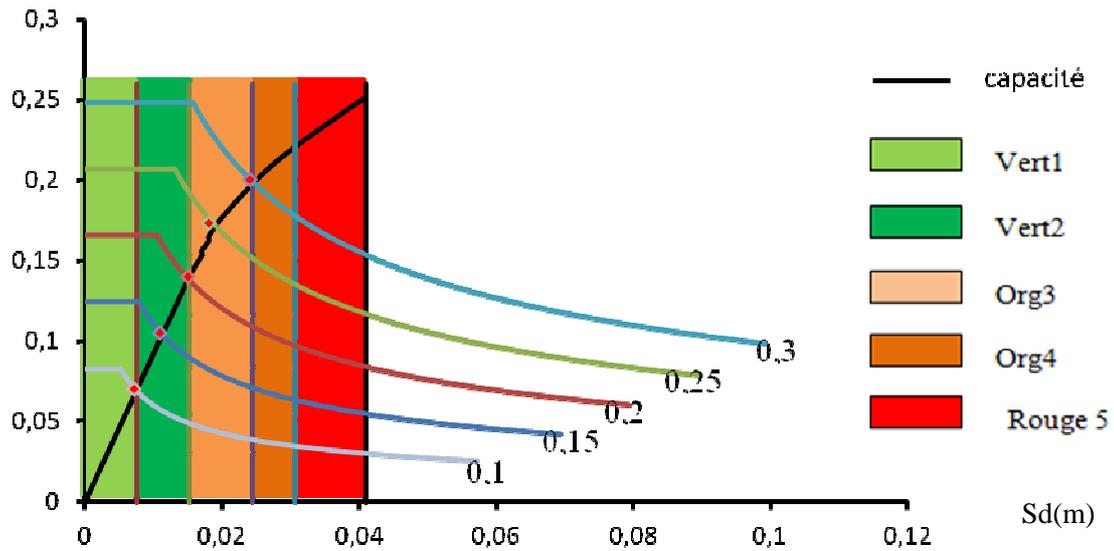


Figure IV.18 : Points de performances selon la direction (yy).

Pour une accélération de 0,3g, le point de performance de cette structure 3 qui est encore régulière en plan ($L_x/L_y = 4$) se situe dans le vert 2 (à la limite) suivant (xx) et à la limite de orange 3 suivant (yy).

IV .3. Etude des structures irrégulières :

IV.3.1. structure 4 :

IV.3.1.1 courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.19et IV.20) suivant les deux directions sont donnes par le (tableau IV.10).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s^2)
Di re	1	0	0

	2	0,02	0,155
	3	0,035	0,252
	4	0,038	0,259
	5	0,042	0,263
	6	0,075	0,267
	Direction (yy)	1	0
2		0,015	0,133
3		0,016	0,144
4		0,017	0,157
5		0,021	0,177
6		0,04	0,244

Tableau IV.10. Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.

Sa(m/s²)

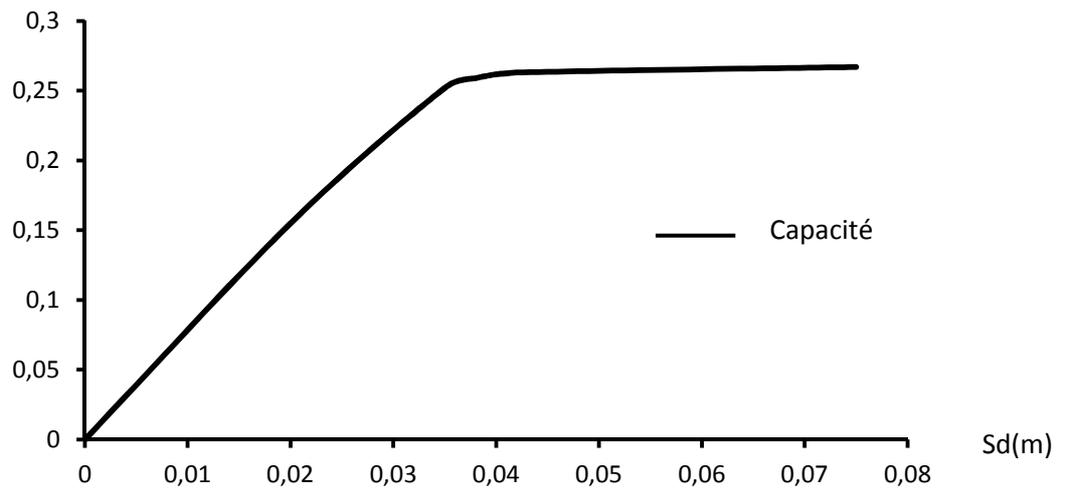


Figure IV.19 : courbe de capacité selon la direction (xx).

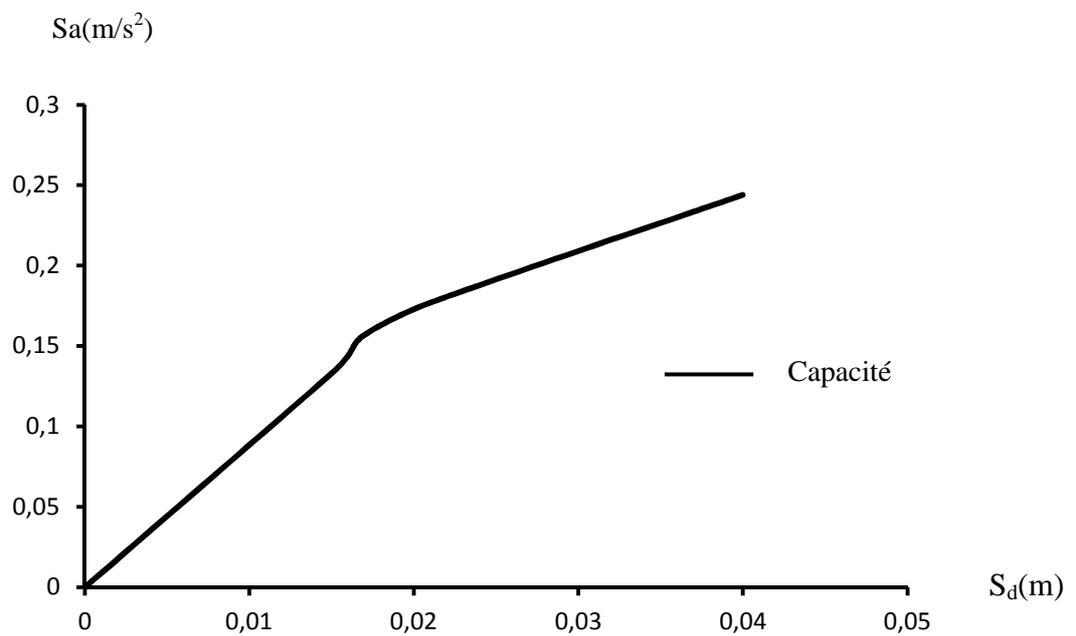


Figure IV.20 : courbe de capacité selon la direction (yy).

IV.3. 1.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.21 et IV.22).

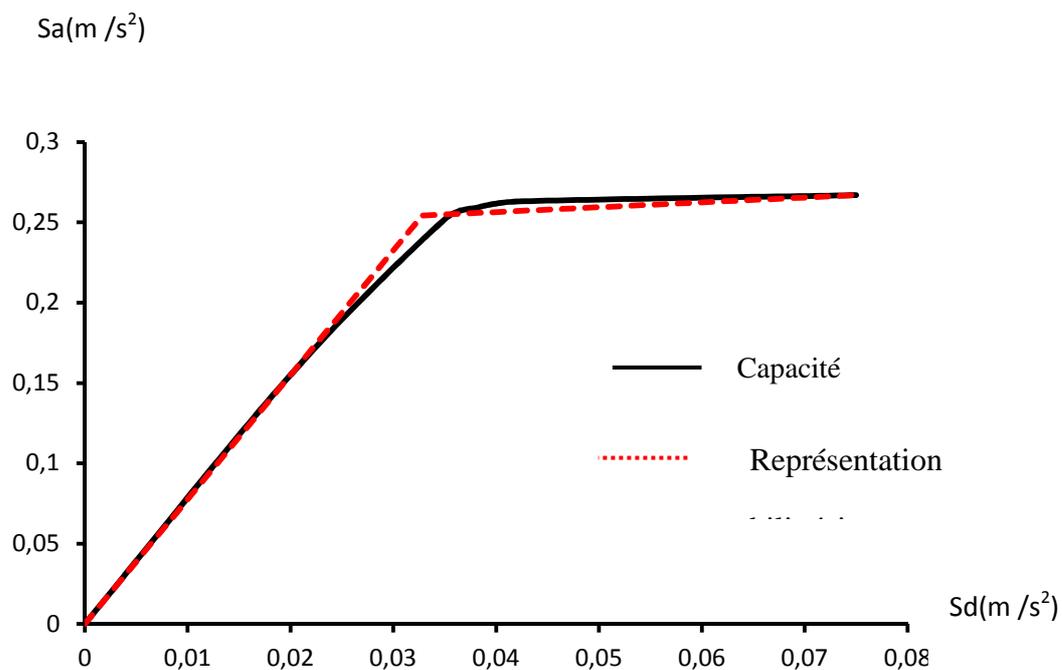


Figure IV. 21 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

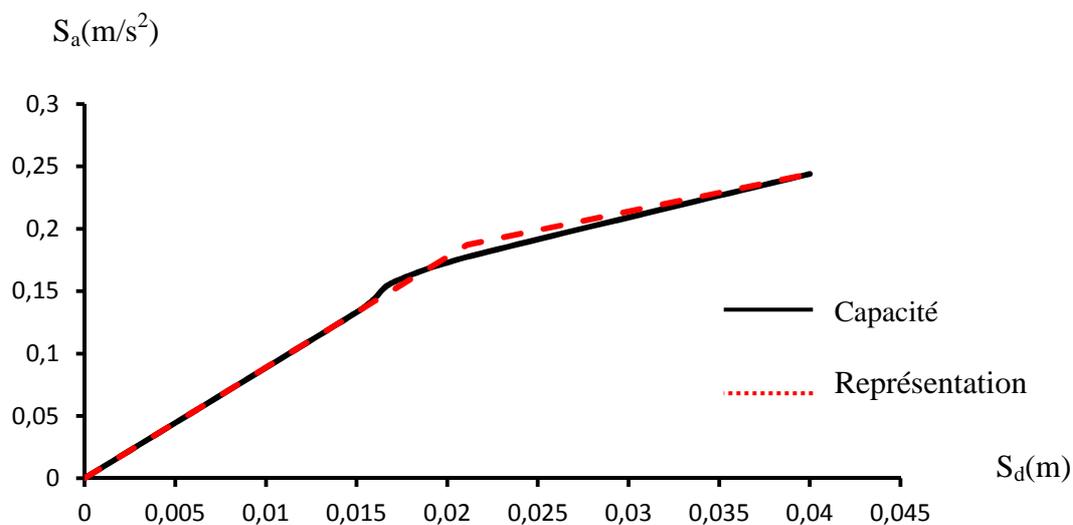


Figure IV. 22 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.8)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,254	0,0328	0,267	0,075
YY	0,187	0,0211	0,244	0,04

Tableau IV.11. Limites élastique et ultime suivant les deux directions.

IV.3.1.3 : Evaluation du point de performance de la structure 4:

IV.3.1.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.12). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,013	0,0084
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,026	0,0168
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,043	0,0258
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,056	0,03
R5	$S_d=S_{du}$	0,075	0,04

Tableau IV.12.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.2.3.4. Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.23 et IV.24) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

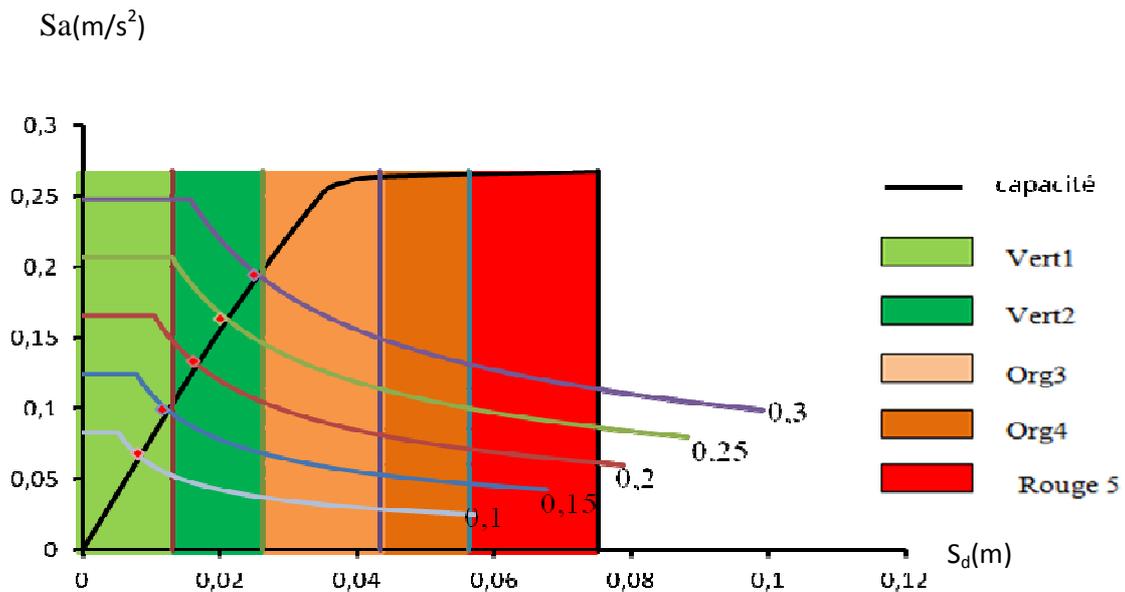


Figure IV.23 : Points de performances selon la direction (xx).

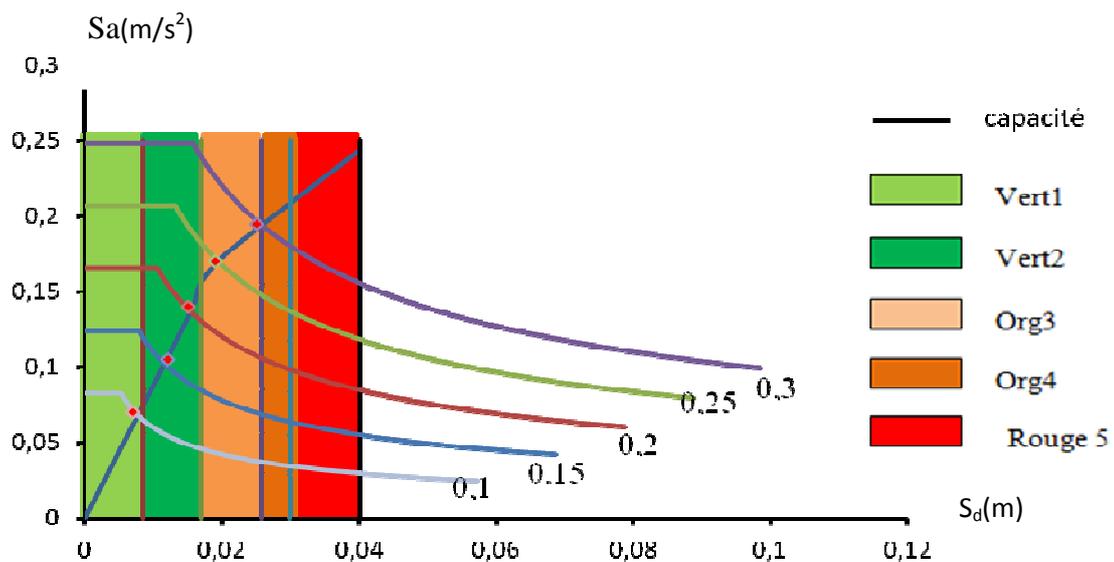


Figure IV.24 : Points de performances selon la direction (yy).

Face à une accélération de 0,3g, le point de performance de cette structure qui a un élancement $L_x/L_y = 4,36$ est dans le vert 2 suivant (xx), par contre dans le sens (yy) le point de performance est à limite de orange 3.

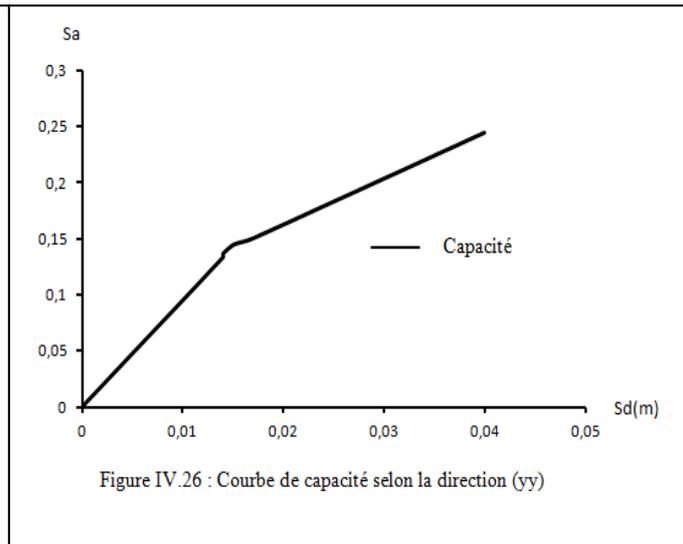
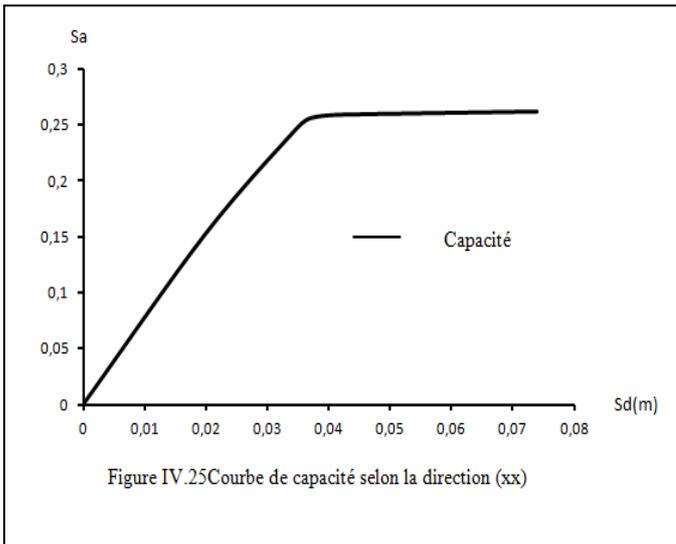
IV.3.2. structure 5 :

IV.3.2.1 courbe de capacité :

Les points qui définissent les courbes de capacité (figure IV.25et IV.26) suivant les deux directions sont donnés par le (tableau IV.13).

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s ²)
Direction (xx)	1	0	0
	2	0,02	0,153
	3	0,035	0,248
	4	0,037	0,256
	5	0,041	0,259
	6	0,074	0,262
Direction (yy)	1	0	0
	2	0,014	0,133
	3	0,014	0,136
	4	0,015	0,144
	5	0,016	0,147
	6	0,017	0,15
	7	0,04	0,244

Tableau IV.1 3.Courbe de capacité du bâtiment suivant les deux directions.



IV.3. 2.2.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité :

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité selon les deux directions est donnée par la figure (IV.27 et IV.28).

Sa

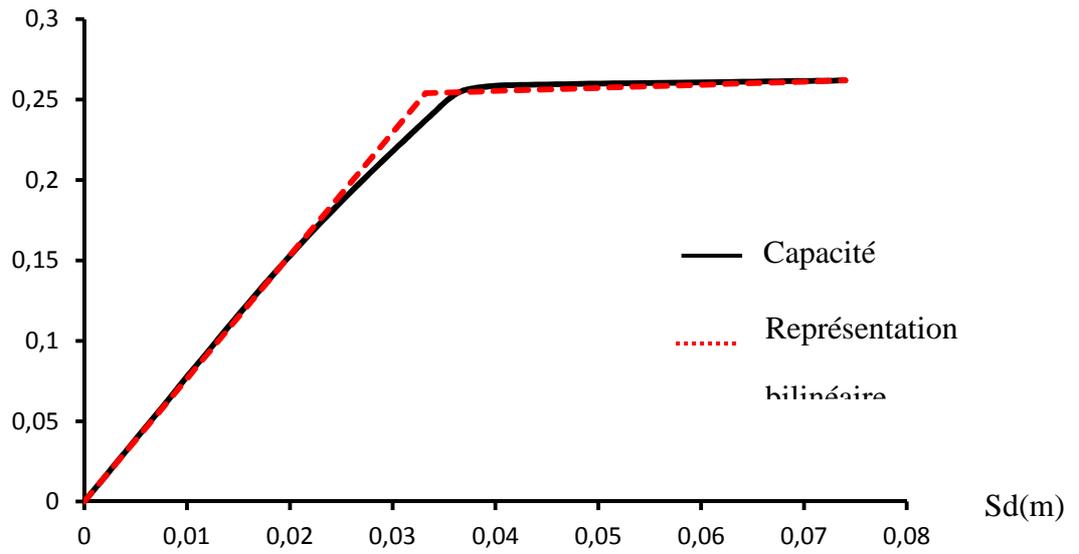


Figure IV. 27 : Représentation bilinéaire selon la direction (xx).

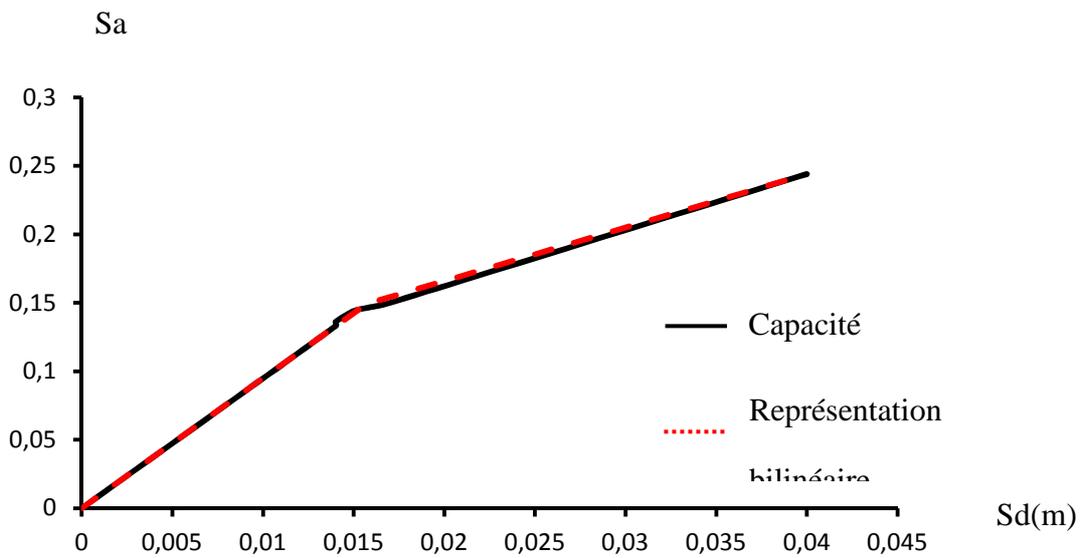


Figure IV. 28 : Représentation bilinéaire selon la direction (yy).

Les limites élastiques et ultimes sont données par le tableau(IV.8)

Direction	$S_{ay}(m/s^2)$	$S_{dy}(m)$	$S_{au}(m/s^2)$	$S_{du}(m)$
XX	0,253	0,0332	0,262	0,074
YY	0,149	0,0157	0,244	0,04

Tableau IV.14. Limites élastique et ultime suivant les deux directions

IV.3.2.3 : Evaluation du point de performance de la structure 5:

IV.3.2.3.1 : Domaines des dommages :

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq(05) domaines des dommages selon l'échelle EMS98 (tableau IV.12). Chaque domaine est associé à un état d'endommagement bien précis.

Degrés de dommage	Formule des différents déplacements spectraux	Déplacement spectral calculé (m)	
		Direction (xx)	Direction (y y)
V1	$S_d=0.4S_{dy}$	0,013	0,006
V2	$S_d=0.8S_{dy}$	0,026	0,012
ORG3	$S_d=S_{dy}+0.25(S_{du}-S_{dy})$	0,043	0,021
ORG4	$S_d=0.75S_{du}$	0,055	0,03
R5	$S_d=S_{du}$	0,074	0,04

Tableau IV.15.Evaluation des dommages suivant les deux directions.

IV.3.2.4.Evaluation du point de performance pour différentes accélérations sismiques :

Dans cette partie nous allons considérer le coefficient d'accélération sismique (A) comme étant le paramètre variable pour la demande sismique.

Les figures (IV.29 et IV.30) montrent la position du point de performance correspondant à chaque accélération sismique suivant les deux directions.

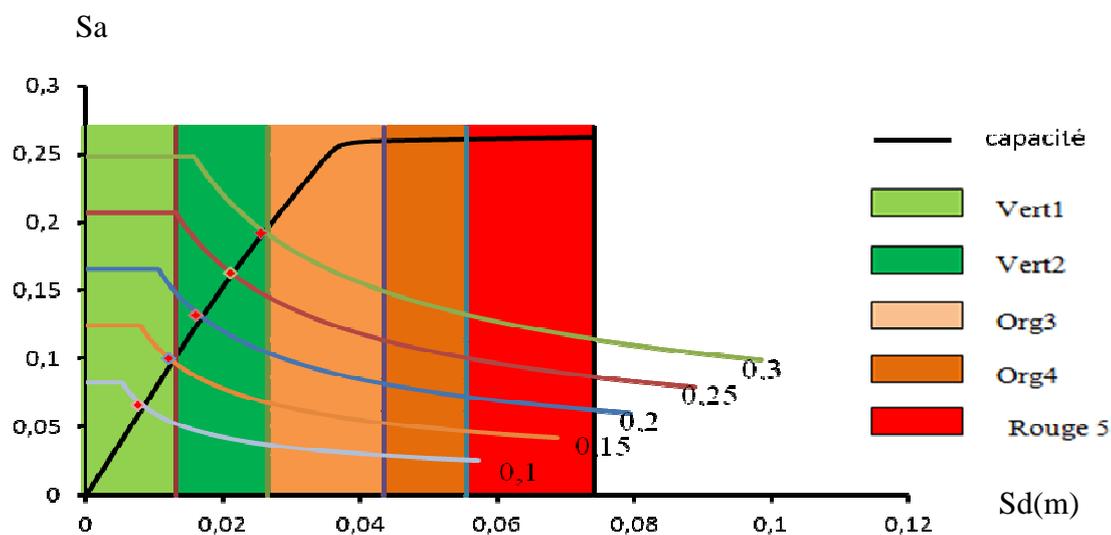


Figure IV.29 : Points de performances selon la direction (xx).

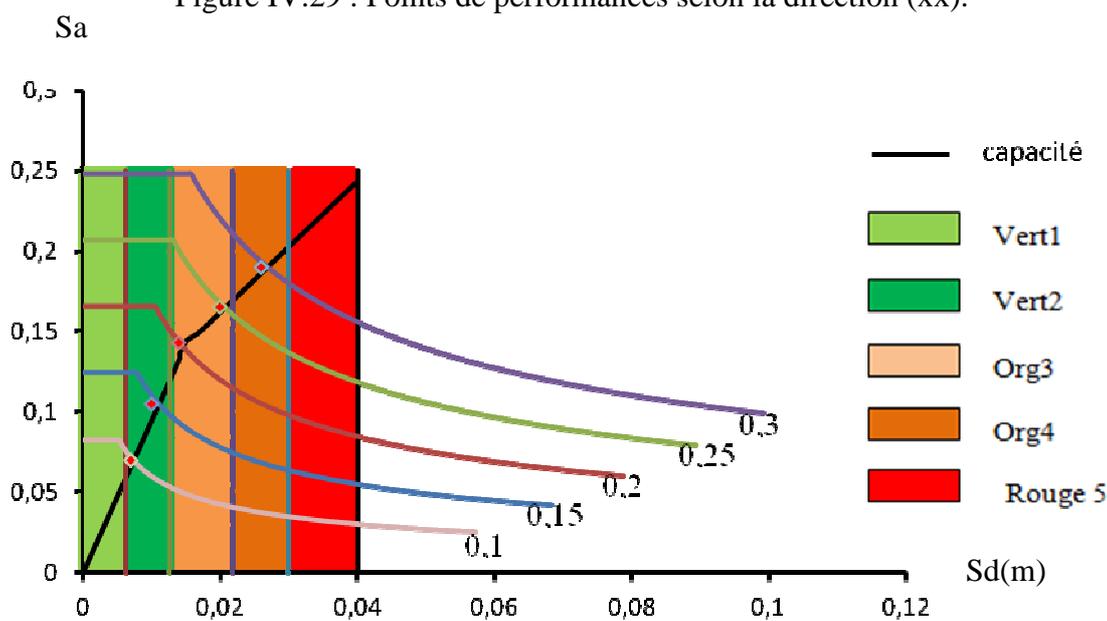


Figure IV.30 : Points de performances selon la direction (yy).

Pour une accélération de 0.3g, le point de performance de cette structure qui est irrégulière en plan ($L_x/L_y = 4,72$) atteint la limite de vert 2 selon (xx), et dans l'orange 4 suivant (yy).

Passent d'un rapport de $L_x/L_y = 4,36$ à $L_x/L_y = 4,72$ le point de performance a passé de orange 3 à orange 4 suivant la direction (xx).

Conclusion générale :

Le but de cette recherche est d'étudier le comportement des structures élancées en plan et connaître l'influence du rapport L_x/L_y sur le comportement sismique. Pour cela nous avons superposé les courbes de capacités avec les courbes de la demande sismique afin d'évaluer les dommages de ces structures.

L'évaluation des dommages qui indiquent les désordres que subit chaque structure est représentée par cinq 5 domaines de dommage inspiré de l'EMS 98.

La méthode statique non linéaire basée sur la courbe de capacité et la demande sismique (push over) nous permet, d'évaluer le niveau de performance pour les différentes accélérations, et de définir un domaine d'endommagement qui nous permet de classer le bâtiment par rapport au niveau de conception parasismique (sécurité parasismique), et de bien estimer le comportement sismique des structures d'une manière plus réaliste.

Les conclusions concernant les cinq structures étudiées en tenant compte de paramètre de l'élancement en plan (rapport de longueur sur la largeur), face à une accélération de $0,3g$ nous donnent ce qui suit:

- Pour un élancement de $L_x/L_y < 4$ (structure 1 et 2), nous avons obtenu des points de performance qui correspondent à un degré de dommage vert 2 dans le sens (xx), et (yy)

- Pour un élancement de $L_x/L_y = 4$ (structures 3), nous avons obtenu un point de performance qui correspond à un degré de dommage vert 2 dans le sens (xx), et orange 3 dans le sens (yy).

- Pour la structure 4 qui a un élancement de $L_x/L_y = 4,36$, le point de performance obtenu se situe dans le vert 2 selon la direction (xx) et orange 3 dans la direction (yy).

- à partir de rapport $L_x/L_y = 4,72$ (structure 5) le point de performance se situe dans le vert 2 selon (xx), et orange 4 suivant (yy).

Après toutes ces comparaisons nous pouvons dire que :

Les résultats obtenus à partir d'une analyse push over en termes de la demande et de capacité donne un aperçu sur le comportement sismique de la structure.

Des que le rapport $L_x/L_y > 4$, la structure a tendance à mal se comporter sismiquement, en effet les désordres attendus sont importants (Orange 3 jusque à Orange 4).

Les structures élancées sont plus vulnérables et la solution consiste à diviser la structure en bloc par des joints sismique.

A partir de cette analyse nous confirmons la condition du RPA dans la prise en compte de paramètre de l'élancement en plan dans les structures.et de faire varier en fonction de la zone devient une exigence.

BIBLIOGRAPHE

[1] Document d'information sur le risque sismique à destination des médias

BRGM/RP -55012-FR Décembre 2006.

[2] Constructions parasismiques *par Jacques BETBEDER-MATIBE* et Jean-

LouisDOURY.

[3] Garcia Jean-François INSA strasbourgue rapport final de PFE mars juillet 2007.

«Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments ».

[4] Document d'information à l'usage du constructeur- Volume 1 et volume 3 conçu par

Mme Patricia BALANDIER.« Le séisme et les sites constructibles».

[5] Yousef Belmouden école polytechnique fédérale de Lausanne 2004. «Analyse non

itérative des oscillation simple sous l'action des tremblement de terre ».

[6] Les Séismes en Algérie du Nord A.K.Yelles-Chaouche CRAAG Route de

l'Observatoire B.P.63 Bouzareah Alger Algérie

[7] Règlement parasismique algérien (RPA 99 modifier 2003).

[8] La construction parasismique, fiche de documentation numéro 11.

[9] Hervé Philip, Jean –Claude Bousquet, Frédéric Masson «séisme et risque

sismique»

[10] MILAN ZACKEK « construction parasismique».

- [11] MILAN ZACKEK «Construction parasismique, édition parenthèse, Maeseille1996».
- [12] VICTOR DAVIDIVIC «Le rapport de séisme de Boumerdes le 21 mai 2003».
- [13] guide de conception parasismique des bâtiments publié par le soutien du ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD/DPPR/SDPRM) .
- [14] Joints de dilatation dans les structures en acier SS017a-FR-EU.
- [15] PIERINO LESTUZZI «Séisme et construction ».
- [16] Hamou kada, Ramdane Kheir eddine «Etablissement de la courbe de fragilité par la méthode de puchover».
- [17] Recherche de la position optimale des voiles et endommagement des structures sous charges dynamiques présenté par M. Hamizi, A. Kahil, S. Boukais, NE. Hannachi.
- [18] BELMOUDEN YUCEF « analyse spectral non itérative des oscillateurs simples sous l'action sismique».
- [19] HASSANI DJAMILA Et HAMMOUDI LILIA, mémoire de fin d'étude, UMMTO département de génie civil, 2009/2010.
- [20] Belmouden Youcef, Lestuzzi P. : « Évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en Suisse (EPFL) ».
- [21] EMS 98 – Echelle macrosismique européenne, sous la direction de G. Grünthal, édition française A. Levret, Conseil de l'Europe : Cahier du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 19. 2001.

