



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Constantine 1
Faculté des Sciences de la Technologie
Département de Génie Civil

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire

Présentée pour l'Obtention du Diplôme de Magister
en Génie Civil

Option : Matériaux-Sols et Structures

Présenté Par :

FILALI ASSIA

Thème

**ETUDE COMPARATIVE DU COMPORTEMENT DE
STRUCTURES EN PORTIQUES EN BETON DE SABLE
ARME APRES LA RUPTURE D'UN POTEAU DE BASE**

Membres du Jury de Soutenance :

Président :	GUETTECHE Nacer	Professeur	Université Constantine 1
Rapporteur :	MANI Moussa	Maître de conférence A	Université Constantine 1
Examineur :	BOULFOUL Azzedine	Maître de conférence A	Université Constantine 1
Examineur :	FERKOUS Salah	Maître de conférence A	Université Constantine 1

Soutenu le : 09/07/2014

REMERCIEMENTS

Je remercie d'abord ALLAH le tout puissant qui m'a guidé et m'a donné la force et la volonté de réaliser ce travail.

Je remercie mon directeur de thèse. Monsieur MANI. M Maître de conférence au département de génie civil université Constantine 1, d'avoir accepté de diriger ce travail avec beaucoup de disponibilité et d'efficacité, pour m'avoir fait partager son expérience, pour les conseils et encouragements qu'il a su me prodiguer pendant toute la durée de cette thèse.

Je remercie Monsieur SAMAI M.L, Professeur au département de génie civil université Constantine 1, cher monsieur, demander à dieu de vous protéger et de prendre s'occuper de vous comme vous prenez s'occuper de moi, et j'appellerai à dieu toujours pour toi. Professoral ; merci merci merci beaucoup.

Je manifeste mes honnêtes remerciements à Monsieur TEKKOUK .A.L Maître de conférence au département de génie civil université Constantine 1, pour son aide et sa disponibilité, et pour soutenir et conseiller valeur .

J'adresse mes sincères remerciements et d'appréciation à Monsieur BADER.R Obtenu un diplôme de maîtrise en génie civil à l'université de Constantine 1. Pour Son aide et le soutien qui lui est soumis pour moi. Et l'effort qui avait été fait avec moi à travers le rythme de la réalisation de ce

travail. M'avancer toute son expérience et connaissances afin d'atteindre le travail présenté dans ce mémoire .

Je manifeste mes honnêtes remerciements à Monsieur GUETTECHE.N Professeur au département de génie civil université Constantine 1, pour l'honneur et le plaisir qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury.

Je remercie vivement Messieurs, BOULFOUL.A Maître de conférences au département de génie civil université Constantine 1, et FERKOUS.S Maître de conférences au département de génie civil université Constantine 1, qui ont accepté de juger ce travail, je leur suis très reconnaissant d'y avoir consacré une partie de leur temps si précieux.

Mes remerciements sont adressés à l'ensemble du corps enseignant en graduation et en poste-graduation qui ont contribué à ma formation.

Enfin, mes pensées vont, bien entendu, vers mes parents, mon frère unique, mes sœurs, mon mari , ma belle fille ainsi que vers toute ma famille, leur soutien et leur compréhension ont été un atout majeur pour la réalisation du présent travail .

DÉDICACE

Je dédie le présent travail

A mes très chers parents

A mon frère unique, et mes sœurs

A mon ange don précieux que Dieu m'a béni avec. Ma fille est précieux

A mon mari

A l'ensemble de ma famille

RÉSUMÉ

Le thème de recherche a trait à l'obtention de l'image instantanée d'une structure multi-étagée multi-travée après la rupture accidentelle d'un poteau de base. Cette image instantanée est, en fait, représentée par le diagramme des moments fléchissants juste après la rupture accidentelle. L'obtention de ce diagramme des moments fléchissants n'est pas une chose aisée, elle nécessite l'utilisation incontournable des concepts de l'analyse plastique des structures et une série de rétro-analyses. En effet le diagramme des moments fléchissants de n'importe quelle structure dépend de la nature du chargement et des conditions d'appuis avec la supposition que la réponse est élastique partout à travers la structure. En réalité, après l'endommagement d'un poteau, ce diagramme des moments fléchissants va faire ressortir inéluctablement des sections ou zones entières où les moments sont supérieurs aux moments plastiques respectifs. Ceci étant juste d'un point de vue mathématique mais impossible d'un point de vue physique.

Un portique de base à trois niveaux et trois travées a été retenu afin d'étudier le cas de la rupture d'un poteau voisin de rive et d'un poteau de rive. Les résultats obtenus après la série de rétro-analyses ont été encourageants. Par ailleurs, deux autres portiques l'un avec un niveau en plus et l'autre avec une travée supplémentaire ont été analysés. L'étude dans un premier lieu a concerné la détermination des vrais mécanismes de ruine pour les trois portiques retenus en utilisant la méthode « pushover ». Ces mêmes portiques ont été réanalysés après la rupture d'un poteau central et un poteau de rive en utilisant la même méthode et avec une série de rétro-analyses jusqu'à l'obtention de l'image instantanée après la rupture. L'étude a été aussi concernée l'étude des effets de quelques paramètres influents tels que la variation du rapport $\alpha = V/H$, la variation de la forme en élévation du portique, la position du poteau endommagé, le changement de pourcentage d'armature A_s .

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme graphique par la construction de diagrammes d'interaction alors que ces derniers ne sont préconisés dans la littérature que pour des portiques simples « single bay – single storey ».

Les images instantanées des portiques endommagés ont révélé que, en aucun cas, il pouvait y avoir une rupture totale, cependant des ruptures partielles (mécanismes élémentaires) ont été observées avec quelques désordres localisés.

Mots clés : comportement, structure, image instantanée, poteau de base, rétro-analyse, moment fléchissant, moment plastique, rotule plastique, mécanisme, béton de sable armé.

ABSTRACT

The research theme has reference to obtaining of the instantaneous image of a multi-bays multi-storeys structure after the accidental damage of a lower column. This instantaneous image, in fact, is represented by the bending moments diagram just after the accidental collapse. Obtaining of this bending moments diagram is not an easy matter to achieve; it requires the use of the concepts of the plastic analysis of the structures that cannot be ignored and a series of retro-analyses. Indeed the bending moment diagram of any structure depends to the nature of the loading and the conditions of supports with the assumption that the behaviour is elastic everywhere through the structure. Actually, after the damage of a column, this diagram of the bending moments will emphasize ineluctably sections or whole zones where the moments are higher than the respective plastic moments. This is being right for a mathematical point of view but impossible for a physical point of view.

Three storeys-three bays basic frame was selected in order to study the case of the damage of a central column and an edge column. The results obtained after the series of retro-analyses were encouraging. In addition, two other frames one with a storey in more and the other with an additional bay were analyzed. The study in a first time related to the determination of truths collapse mechanisms for the three frames retained by using the method "pushover". These same frames were reanalyzes after the damage of a central column and an edge column by using the same method and with a series of retro-analyses until obtaining the instantaneous image after the damage. The study was also relates to the study of the effects of some influential parameters such as the variation of the ratio $\alpha = V/H$, the form of rise in the frame, the position of the damaged column ,the percentage chengement frame A_s .

The results obtained were presented in graphic form by the construction of interaction diagrams, whereas these diagrams are recommended in the literature only for simple frames "single bay – single storey".

ملخص

موضوع البحث يتعلق بالحصول على ا لصورة الآنية لمنشأة متعددة المستويات و متعددة القناطر، و ذلك بعد ضرر فجائي لعمود سفلي. في الحقيقة هذه ا لصورة الآنية تمثل بواسطة بيان عزوم الانحناء بعد الضرر الفجائي. الحصول على هذا البيان ليس بالأمر الهين، و هذا ما يتطلب الاستعمال الحصري لمبادئ التحليلات البلاستكية للمنشآت بواسطة سلسلة من التحليلات التراجعية.

في الواقع بيان عزوم الانحناء بالنسبة لأي منشأة يتعلق أساسا بطبيعة الحمولات و بشروط الإسناد ، مع فرضية أن السلوك يبقى مرنا في كل مقاطع المنشأة . في الحقيقة، بعد الضرر الفجائي للعمود، بيان عزوم الانحناء المحصل عليه سيظهر حتما مقاطع أو مناطق كاملة لها عزوم أكبر من العزوم البلاستكية المرفقة. هذا الأمر صحيح من الناحية الرياضية لكنه مستحيل من الناحية الفيزيائية.

اختيار هيكل أساسي يتكون من ثلاث مستويات وثلاثة قناطر مكن من دراسة المنشأة في حالة ضرر عمود سفلي مركزي أو عمود سفلي جانبي . النتائج المحصل عليها بعد سلسلة من التحليلات التراجعية كانت مشجعة. إضافة إلى ذلك تم اختيار هيكلين آخرين الأول بزيادة طابق والآخر بزيادة قنطرة فقط للدراسة. في أول الأمر الدراسة تتعلق بتحديد ميكانزمات الانهيار الحقيقية لكل هيكل من الهياكل الثلاثة المختارة و ذلك بواسطة طريقة تسمى «pushover» تعنى بتحديد ميكانزمات الانهيار الحقيقية. حيث أن هاته الهياكل نفسها درست بعد تضرر أحد أعمدها السفلية إذ كان مركزيا أو جانبيا و ذلك باستعمال نفس الطريقة مع سلسلة من التحليلات التراجعية حتى الحصول على الصورة الآنية. تعلقت الدراسة أيضا بدراسة آثار بعض العوامل المؤثرة مثل تغير النسبة $V/H\alpha$ ، الشكل الهندسي للهيكل، موضع العمود المتضرر، و تغير النسبة المئوية لتسليح بالحديد A_s .

النتائج المحصل عليها مثلت بإنشاء رسومات بيانية بالرغم من أن هذه الأخيرة معتمدة نظريا فقط بالنسبة للهياكل البسيطة ذات مستوى واحد وقنطرة واحدة فقط .

الصور الآنية للهياكل المتضررة أظهرت في كل الحالات أنه لا يوجد انهيار كلي للهيكل بل هنالك انهيارات جزئية فقط (ميكانيزمات جزئية) لوحظت مع بعض الأخطار الموضوعية.

الكلمات المفتاحية : سلوك، منشأة، صورة آنية، عمود سفلي، التحليلات التراجعية، عزم الانحناء، عزم بلاستيكي، ميكانيزم.

TABLE DES MATIÈRES

<i>REMERCIEMENTS</i>	i
<i>DÉDICACE</i>	iii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT.....	vi
ملخص	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
LISTE DES FIGURES	xiv
LISTE DES NOTATIONS ET ABBREVIATIONS	xxiv
1-INTRODUCTION :	1
1-1- Problématique :	1
1-2- Objectifs de la recherche :	1
1-3 -Structuration du mémoire :	2
2-SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETON DE SABLE: [1]	3
2-1- Historique des bétons de sable :	3
2-2- Définition du béton de sable :	4
2-3- Les composants des bétons de sable :	4
2-3-1- Le sable :	4
2-3-2- Le ciment :	4
2-3-3- L'addition :	5
2-3-4- L'eau:	5
2-3-5- Les ajouts :	5
2-4 - Formulation du béton de sable :	7
2-5 - Intérêt des bétons de sable :	7
2-5-1- Propriétés spécifiques des bétons de sable :	7
2-5-2 -Abondance de la matière première :	7
2-5-3- Domaine d'emploi :	8
2-6 -Limites des bétons de sable :	8

2-7- Avantages et inconvénients des bétons de sable :	9
2-7-1- Avantages des bétons de sable :	9
3- CHARGES DE RUINE ET MÉCANISMES DE RUINE POUR DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURES ET DE PORTIQUES MULTI-TRAVEES MULTI-ETAGES : [2].....	12
3-1- Introduction:	12
3-2 -Théorèmes fondamentaux de l'analyse plastique des structures:	13
3-2-1- Introduction:	13
3-2-2- Théorème de la limite inférieure:	13
3-2-3- Théorème de la limite supérieure:	13
3-2-4- Théorème de l'unicité:	13
3-3- Détermination des charges de ruine et mécanismes de ruine d'un portique simple : ...	14
3-3-1 Méthode « pas à pas »:	14
3- 3-1-1- Introduction:	14
3-3-1-2- Caractéristiques du portique:	14
3-3-1-3- Traitement du portique:	14
3-4-2 -Méthode cinématique:	18
3-4-2-1 -Introduction:	18
3-4-2-2 -Beam mechanism:	19
3-4-2-3 -Sway mechanism:	20
3-4-2-4- Combined mechanism:	21
3-4-2-5- Effets du rapport $\lambda V/\lambda H$:	24
3-4-2-6- Construction des diagrammes d'interaction:	25
3-5- Détermination des charges de ruine et mécanismes de ruine d'une structure multi-étagée multi-travée:	26
3-5-1- Introduction:	26
3-5-2- Analyse limite:	27
3-5-3- Méthode « pas à pas »:	28
3-5-4- Méthode non linéaire « pushover »:	28
3-5-4-1- Introduction:	28
3-5-4-2- Définition de l'analyse « pushover »:	29
3-6- Cas particuliers:	29
3-6-1- Cas d'un portique à deux niveaux et une travée [3]:	29

3-6-1- 1- Introduction:	29
3-6-1-2 présentation du portique:.....	29
3-6-1-3 Mécanismes De Ruine:	30
3-6-1-4 Représentation graphique.....	32
3-6-1-5 -Synthèse:.....	33
3-6-2- Cas d'un portique multi travées multi étagées (Bader Rached [4]):	34
3-6-2- 1- Introduction:	34
3-6-2-2- présentation des trois portiques retenus :.....	34
3-6-2-3- Mécanismes De Ruine:	37
3-6-2-4- Représentation graphique :	40
3-6-2-5- Synthèse:.....	42
4- DETERMINATION DES MECANISME DE RUINE POUR DES STRUCTURES EN	
PORTIQUES EN BETON ORDINAIRE ARME ET EN BETON DE	
SABLE ARME:	43
4-1-Introduction:.....	43
4-2 -Raisons du choix de la méthode retenue pour l'étude:	43
4-3- Caractéristiques mécaniques et géométriques des trois Portiques retenus:	44
4-3-1- Caractéristiques Du Portique de 3Niveaux et 3Travée (portique de base):	44
4-3-2- Caractéristiques Du Portique de 3Niveaux et 4Travée :	45
4-3-3- Caractéristiques Du Portique de 4Niveaux et 3Travée :	46
4-4- Mécanismes de ruine pour les trois portiques témoins:	47
4-4-1- Introduction:.....	47
4-4-2- Mécanismes De Ruine des trois Portiques Témoins:.....	47
4-4-2-1-Portique P 3N 3T :	47
4-5-2-2 portique P 3N 4T :.....	74
4-5-2-3 Portique P 4N 3T	100
4-6 Construction des diagrammes d'interaction :.....	130
4-6-1 Introduction	130
4-6-2 Principes Généraux De Construction	131
4-6-3 Représentation graphique	131
4-6-3-1 Introduction.....	131

4-6-3-2 Développement graphique	132
4-6-3-3 Discussion des résultats	132
4-6-4 Synthèse	140
5- ETUDE COMPARATIVE DE STRUCTURES EN PORTIQUES ENDOMMAGÉES	
EN BÉTON ORDINAIRE ARMÉ ET EN BÉTON DE SABLE ARMÉ : .	142
5-1- Rétro-analyses pour des structures simples endommagées :	142
5-1-1- Introduction :	142
5-1-2- Processus d'obtention de l'image réelle après l'endommagement :	142
5-1-3- Exemple d'application :	143
5-1-3-1- Portique simple endommagé :	143
5-2- Analyse des trois portiques témoins endommagés en utilisant la méthode non linéaire « pushover » :	146
5-2-1- Introduction :	147
5-2-2- La rupture d'un poteau voisi du rive P 3N 3T (portique de base):	147
5-2-2-1- Image instantanée après l'endommagement:	147
5-2-2-2 -Principales constatations:	157
5-2-2-3 -Synthèse :	158
5-2-3- Endommagement d'un poteau de rive du P 3N 3T (portique de base):	159
5-2-3-1- Image instantanée après l'endommagement:	159
5-2-3-2- Principales constatations:	169
5-2-3-3 -Synthèse :	170
5-2-4- La rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T:	171
5-2-4-1- Image instantanée après l'endommagement:	171
5-2-4-2- Principales constatations:	181
5-2-4-3- Synthèse :	182
5-2-5- La rupture d'un poteau de rive du P 3N 4T :	183
5-2-5-1- Image instantanée après l'endommagement:	183
5-2-5-2- Principales constatations :	193
5-2-5-3- Synthèse :	194
5-2-6 -La rupture d'un poteau voisin de rive du P 4N 3T:	194
5-2-6-1- Image instantanée après l'endommagement:	194
5-2-6-2- Principales constatations :	204

5-2-6-3- Synthèse :.....	205
5-2-7-La rupture d'un poteau de rive du P 4N 3T:	206
5-2-7-1- Image instantanée après l'endommagement:.....	206
5-2-7-2 -Principales constatations:	216
5-2-7-3- Synthèse :.....	217
5-3- Synthèse des synthèses :	217
6-CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES :	223
6-1- Introduction :.....	223
6-2- Mécanismes de ruine des portiques non endommagés :	223
6-3- Analyse de portiques endommagés :.....	224
6-4- Perspectives :	226
A.1. Détermination du moment ultime d'une section non usuelle en béton armé :	227
A.1.1. Exposé de la méthode basée sur le concept de la théorie générale :.....	227
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	229

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Diagramme parabole-rectangle de contrainte-déformation du en compression ..	11
Figure 3.1 : Conditions du vrai mécanisme de ruine en fonction de λ	13
Figure 3.2 : Portique simple à une travée et un niveau	14
Figure 3.3 : Détermination du mécanisme de ruine d'un portique par la méthode « pas à pas »	16
Figure 3.4 : Courbe facteur de charge λ en fonction du déplacement horizontal du portique simple	18
Figure 3.5 : Portique simple à une travée et un niveau	18
Figure 3.6 : « Beam mechanism »	20
Figure 3.7 : « Sway mechanism »	21
Figure 3.8: « Combined mechanism ».....	22
Figure 3.9 : Diagramme des moments fléchissants du portique simple au moment de la ruine	22
Figure 3.10 : diagramme des moments fléchissants poutre B-D.....	23
Figure 3.11 : Diagramme des moments fléchissants total du portique simple au moment de la ruine.....	23
Figure 3.12 : Relation entre la charge de ruine horizontale et le rapport α	25
Figure 3.13 : Diagramme d'interaction du portique simple.	26
Figure 3.14 : présentation du portique témoin testé par Boukeloua [3]	30
Figure 3.15 : Les différents types de mécanisme de ruine en fonction de α pour la combinaison de $M_{pb}= 200$ kN.m et $M_{pc} = 150$ kN.m	32
Figure 3.16 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH pour la combinaison de $h/M_{pc} =3/150=0.02$ KN ⁻¹ et $1/M_{pb}=6/200=0.03$ KN ⁻¹	33
Figure 3.17 : Présentation du P 3N 3T (portique de base)	34

Figure 3.19 : Présentation du P 4N 3T	36
Figure 3.20 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T (portique de base).	37
Figure 3.21 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T.	38
Figure 3.22 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T.	40
Figure 3.23 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 3T (portique de base).	40
Figure 3.24 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T	41
Figure 3.25 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 4N 3T	41
Figure 4.1 : Présentation du P 3N 3T (portique de base)	44
Figure 4.2 : Présentation du P 3N 4T	45
Figure 4.3 : Présentation du P 4N 3T	46
Figure 4.4 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T (A_s min).BOA.....	48
Figure 4.5 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T (A_s min).BDSA	50
Figure 4.6 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=1\%$).BOA	53
Figure 4.7 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=1\%$).BdsA.....	54
Figure 4.8 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=2\%$).BOA	57
Figure 4.9 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=2\%$).BdsA.....	59

Figure 4.10 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=3 \%$).BOA.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4.11 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=3 \%$).BDSA	65
Figure 4.12 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=4 \%$).BOA.....	69
Figure 4.13 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=4 \%$).BdsA.....	71
Figure 4.14 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s \text{ min}$).BOA.....	75
Figure 4.15 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s \text{ min}$).BdsA	77
Figure 4.16 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=1 \%$).BOA.....	80
Figure 4.17 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=1 \%$).BDSA	81
Figure 4.18 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=2 \%$).BoA	84
Figure 4.19 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=2 \%$).BdsA.....	86
Figure 4.20 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=3 \%$).BOA.....	90
Figure 4.21 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=3 \%$).BdsA.....	91
Figure 4.22 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=4 \%$).BoA	95
Figure 4.23 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=4 \%$).BDSA	97

Figure 4.24 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T (A_s min).BOA.....	101
Figure 4.25 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T (A_s min).BDSA.....	103
Figure 4.26 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T ($A_s=1\%$).BOA.....	106
Figure 4.27 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T ($A_s=1\%$).BDSA	107
Figure 4.28 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T ($A_s=2\%$).BOA.....	110
Figure 4.29 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T ($A_s=2\%$).BDSA	114
Figure 4.30 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T ($A_s=3\%$).BOA.....	117
Figure 4.31 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T ($A_s=3\%$).BDSA	119
Figure 4.32 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T ($A_s=4\%$).BOA.....	124
Figure 4.33 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T ($A_s=4\%$).BDSA	126
Figure 4 -34 : Diagramme d'interaction: cas du P 3N 3T (A_s min).....	132
Figure 4.35 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 3T ($A_s=1\%$).....	133
Figure 4.36 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 3T ($A_s=2\%$).....	133
Figure 4.37 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 3T ($A_s=3\%$).....	134

Figure 4.38 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 3T ($A_s=4\%$).....	134
Figure 4.39 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 4T (A_s min).....	135
Figure 4.40 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 4T ($A_s=1\%$).....	135
Figure 4.41 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 4T ($A_s=2\%$).....	136
Figure 4.42 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 4T ($A_s=3\%$).....	136
Figure 4.43 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 3N 4T ($A_s=4\%$).....	137
Figure 4.44 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 4N 3T (A_s min).....	137
Figure 4.45 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 4N 3T ($A_s=1\%$).....	138
Figure 4.46 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 4N 3T ($A_s=2\%$).....	138
Figure 4.47 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 4N 3T ($A_s=3\%$).....	139
Figure 4.48 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λ_V - λ_H : cas du P 4N 3T ($A_s=4\%$).....	139
Figure 5.1 : Portique simple à une travée et un niveau avant l'endommagement.....	143
Figure 5.2 : Rétro-analyse pour le portique endommagé	145
Figure 5.3 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de A_s min	148
Figure 5.4 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de A_s min	149

Figure 5.5 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 1%	150
Figure 5.6 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1%	151
Figure 5.7 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 2%	152
Figure 5.8 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 2%	153
Figure 5.9 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 3%	154
Figure 5.10 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3%	155
Figure 5.11 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 4%	156
Figure 5.12 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3%	157
Figure 5.13 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de A_s min	160
Figure 5.14 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min	161
Figure 5.15 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%	162
Figure 5.16 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%	163
Figure 5.17 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%	164
Figure 5.18 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T : cas $A_s = 2\%$ (BDSA).....	165

Figure 5.19 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%	166
Figure 5.20 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%	167
Figure 5.21 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%	168
Figure 5.22 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%	169
Figure 5.23 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de A_s min.....	172
Figure 5.24 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min	173
Figure 5.25 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%	174
Figure 5.26 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%	175
Figure 5.27 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%	176
Figure 5.28 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%	177
Figure 5.29 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%	178
Figure 5.30 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%	179
Figure 5.31 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%	180
Figure 5.32 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%	181

Figure 5.33 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de As min	183
Figure 5.34 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de As min	184
Figure 5.35 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 1%	185
Figure 5.36 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1%	186
Figure 5.38 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 2%	188
Figure 5.39 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 3%	189
Figure 5.40 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3%	190
Figure 5.41 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 4%	191
Figure 5.42 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 4%	192
Figure 5.43 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de As min.....	195
Figure 5-44 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de As min	196
Figure 5.45 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%	197
Figure 5.46 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%	198
Figure 5.47 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%	199

Figure 5.48 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%	200
Figure 5.49 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%	201
Figure 5.50 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%	202
Figure 5.51 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%	203
Figure 5.52 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%	204
Figure 5.53 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de A_s min.....	206
Figure 5.54 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min	207
Figure 5.55 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%	208
Figure 5.56 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%	209
Figure 5.57 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%	210
Figure 5.58 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%	211
Figure 5.59 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%	212
Figure 5.60 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%	213
Figure 5-61 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%	214

Figure 5.62 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%	215
Figure A.1 :Distribution des contraintes et déformations d'une section non usuelle en BOA	228
Figure A.2 :Distribution des contraintes et déformations d'une section non usuelle en BDSA	228

LISTE DES NOTATIONS ET ABREVIATIONS

$A_{c(x)}$	L'aire de la partie supérieure du béton comprimé, en fonction de x
A_s	Section des armatures tendues
A'_s	Section des armatures comprimées
A	Petite portée de la poutre
B	Grande portée de la poutre
D	La hauteur utile de la section en béton armé
d'	L'enrobage des armatures comprimées
E	Module de déformation longitudinale des armatures (Module d'Young)
E_c	Module d'élasticité du béton
F_{cc}	Force résultante de compression du béton
F_{sc}	Force résultante de compression dans les armatures comprimées
F_{st}	Force résultante de traction dans les armatures tendues
f_{ck}	Résistance caractéristique à la compression du béton
f_s	Contrainte dans les armatures tendues
f'_s	Contrainte dans les armatures comprimées
H	Charge concentrée horizontale
H_c	Charge horizontale de ruine
h	Hauteur d'étage
I	Moment d'inertie de la section totale
j	Nombre de rotules mécaniques
k	Facteur de forme
l	Travée de la poutre
M	Moment fléchissant

M_e	Moment fléchissant élastique
$(M_{\max})_i$	Moment fléchissant maximum de l'étape i
$(M_{\max})_{ij}$	Le j^{ieme} plus grand moment fléchissant de l'étape i
$(M_{\max r})_{ij}$	Le j^{ieme} plus grand moment résultant de l'étape i
M_p	Moment plastique de la section
M_{pb}	Moment plastique de la poutre
M_{pc}	Moment plastique du poteau
m	Nombre de mécanismes élémentaires de ruine
N	Effort normal
n	Nombre de rotules plastiques
P	Charge concentrée
P_c	Charge de ruine
p	Nombre de sections critiques
r	Nombre de redondance ou degré d'hyperstaticité
S	Moment statique de la moitié de la section
$T(x)$	Effort tranchant dans la section à une distance x
V	Charge concentrée verticale
V_c	Charge verticale de ruine
α	Rapport entre la charge concentrée verticale et la charge concentrée horizontale
δ	Déplacement virtuel
ε	Déformation relative
ε_{cc}	Déformation relative dans le béton
ε_{cu}	Déformation relative maximale dans le béton

ε_{sc}	Déformation relative dans les armatures comprimées
ε_{st}	Déformation relative dans les armatures tendues
θ	Rotation plastique
λ	Facteur de charge
λ_c	Facteur de charge de ruine
λ_i	Facteur de charge de l'étape i
λ_l	Limite inférieure du facteur de charge
λ_r	Facteur redresseur du moment fléchissant
λ_u	Limite supérieure du facteur de charge
φ	Rotation plastique
χ	Courbure de la déformée
χ_e	Courbure élastique de la déformée
Δ	Déplacement virtuel
B.A	Béton armé
DMF	Diagramme des moments fléchissants
E.L.S	Etat limite de service
E.L.U	Etat limite ultime
P nN mT	Portique témoin à n niveaux et m travée

Chapitre 1

INTRODUCTION

1-INTRODUCTION :

1-1- Problématique :

Aujourd'hui le béton de sable occupe une importante place dans le domaine du génie civil, son intérêt réside de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité, son ouvrabilité et son coût acceptable.

Dans une structure en BDSA La détermination du ferrailage et moment plastique pour des sections n'existent pas explicitement dans la littérature du fait que la différence majeure entre le béton ordinaire et le béton de sable est précisément le bloc de contrainte à adopter. Il est donc possible d'adopter la même démarche que pour le béton ordinaire armé pour pourrait ferrailer ou déterminer le moment plastique de sections usuelles en BDSA en adoptant le bloc de contrainte appropriée.

Si une telle structure devait perdre un poteau de base accidentellement alors fatalement il va y avoir des sections ou un ensemble de zones qui aurait dépassé le moment plastique.

L'image réelle instantanée après la rupture d'une section ou plus ou d'un élément de structure ne peut être obtenue qu'en utilisant les concepts de l'analyse plastique des structures et ce exclusivement par le biais de rétro-analyses de la structure en tenant compte du phénomène de redistribution des moments fléchissants.

L'analyse de cette image devra révéler si la structure a subi une ruine totale ou une ruine partielle.

1-2- Objectifs de la recherche :

Les principaux objectifs de la présente thèse peuvent être classés comme suit:

- Enrichir l'état de connaissance sur les caractéristiques du B.D.S
- Prendre trois structures en portique à savoir: P3N3T, P3N4T et P4N3T soumise à des combinaisons de charges verticales et horizontales (les charges verticales sont appliquées au milieu de travées et les charges horizontales au niveau des jonctions poutres-poteaux pour les niveaux).
- Faire une analyse complète des mécanismes de ruine et charges de ruine en faisant varier le taux d'armature A_s et ce pour cinq cas différents allant du taux d'armatures minimal jusqu'au le taux d'armatures maximal.

- Construire des diagrammes d'interaction pour l'ensemble de ces portiques et obtenir l'étendue de chaque intervalle des valeurs de α en essayant de déterminer avec précision les différentes valeurs tampons (limites ou frontières), valeurs pour lesquelles il y aura une sur ruine de plusieurs mécanismes élémentaires ou combinés.
- Prendre les trois portiques en B.D.S.A et B.O.A et essayer d'obtenir l'image instantanée après la rupture accidentelle d'un poteau de base voisin de rive. et d'un poteau de base de rive.
- Sortir avec des conclusions concrètes et pratiques ainsi que des perspectives de développement du présent thème.

1-3 -Structuration du mémoire :

Le présent travail consiste à faire une étude comparative du comportement de structures en portiques en béton de sable armé après la rupture d'un poteau de base, ce travail peut être structuré comme suit :

- Introduction avec une problématique détaillée et les objectifs à atteindre.
- Historique , caractéristiques, avantages et inconvénients de B.D.S.
- Présentation du calcul des charges de ruine pour des éléments de structure et structures allant de la poutre simplement appuyée au portique multi travées multi étagées.
- La détermination des mécanismes de ruine pour les portiques en B.D.S.A et B.O.A retenus ainsi que la construction de leurs diagrammes d'interaction.
- Analyse de structures en B.D.S.A et B.O.A après la rupture d'un poteau de rive ou voisin de rive en utilisant la méthode non linéaire « pushover » avec le développement de séries de rétro-analyses.
- Conclusion générale et perspectives.

Chapitre 2

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETONS DE SABLE

2-SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETON DE SABLE: [1]

2-1- Historique des bétons de sable :

Le premier grand ouvrage ayant fait appel à l'usage du béton de sable est sans doute le phare de Port Saïd construit par François Coignet à l'embouchure du canal de Suez.

Coignet utilisa du sable de mer et si le phare proprement dit n'est plus en service, l'édifice est toujours debout. Après la seconde guerre mondiale, l'URSS, riche en sable mais pauvre en granulats, et devant faire face à un très grand programme de reconstruction utilisa largement le béton de sable pour bâtir des routes, des aérodromes, des bâtiments...

Dans un article du Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (Le béton de sable en Union Soviétique, 1991, n° 174, pp. 61-69), Jean-Jacques Chauvin fait le point sur l'usage du béton de sable en Union Soviétique. Dans son introduction, il mentionne l'ouvrage de Nicolas de Rochefort publié en Russe en 1918 : « *Si l'on broie en même temps clinker et sable dans un rapport de un pour un, on obtient un produit qui, mélangé au sable naturel dans un rapport de un pour trois (soit au total un de clinker pour 6 de sable), conduit aux mêmes résistances qu'un mélange de 1/3 de clinker broyé seul et de sable, c'est-à-dire que l'on double les performances du ciment !* » L'explication est donnée quelques lignes plus loin : « *Le principe physique du phénomène semble être qu'au concassage on libère des surfaces physico-chimiquement actives tant qu'elles sont fraîches, sur lesquelles se fixe le liant* ».

En France, pour limiter l'extraction des ressources naturelles des lits rivières, démarra, en 1988, le projet MATERLOC qui visait à optimiser l'usage des matériaux locaux et notamment celui du sable issu du broyage des roches calcaires. Une partie de ce projet est connue sous le nom de SABLOCRETE dont les enjeux et les recommandations ont été publiées en 1994 aux Presses de l'ENPC : Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation.

2-2- Définition du béton de sable :

Le béton de sable est un béton formé par mélange de sable, de ciment, d'addition(s) et d'eau. Des ajouts (adjuvants, fibres ...) peuvent également être incorporés au mélange. Il est donc principalement constitué de sable.

Son dosage en ciment est du même ordre que celui des bétons classiques soit entre 250 à 400 kg/m³. Cette similitude lui vaut, entre autre, le terme de "béton". Il se distingue du mortier par, notamment, son dosage en ciment, celui d'un mortier étant de 400 à 700 kg/m³, et par son domaine d'utilisation.

2-3- Les composants des bétons de sable :

2-3-1- Le sable :

Les sables utilisables sont ceux conformes aux spécifications des bétons classiques, mais des sables considérés non performants peuvent également être employés. D'ailleurs, des programmes nationaux de recherche (SABLOCRETE en France, par exemple) s'efforcent de promouvoir l'utilisation de tous les types de sables.

Les sables sont de quatre origines :

- les sables alluvionnaires propres: ils s'épuiseront à terme ;
- les sables marins: leur exploitation est peu développée ;
- les sables géologiques anciens: généralement mal gradués et pollués, ils sont appelés à remplacer les sables alluvionnaires fluviaux. Le sable de dunes (sable éolien) pourrait être classé dans cette catégorie de sable;
- les sables de concassage et de broyage de roches massives: les fines de calcaire par exemple

2-3-2- Le ciment :

Le comblement des vides importants contenus dans le sable et l'obtention d'une compacité maximale nécessitent une forte proportion d'éléments fins: ciment et fillers d'ajout assurent ce rôle dans le béton de sable, et le rendement ainsi utilisable en pleine masse en limitant les inconvénients liés aux forts dosages en ciment: coût élevé, retrait, fissuration, etc ... Le ciment est nécessaire à l'obtention d'une résistance suffisante pour l'usage envisagée alors que les fines (fillers) sont nécessaires à l'obtention d'une bonne compacité.

2-3-3- L'addition :

Par définition, le béton de sable contient une (ou plusieurs) additions. Il s'agit essentiellement de fillers- calcaires, siliceux, de laitier, de cendres volantes, mais aussi d'autres fines (argile calcinée, ultrafines...).

Les additions proviennent directement du sable (cas des sables fillerisés) et/ou d'apport. Elles comblent en partie les vides du sable: elles augmentent donc sa compacité naturelle et créent une granulométrie aussi continue que possible. Mais elle participe également à l'amélioration de l'enchevêtrement cristallin et de la cohésion du mélange. Elles permettent ainsi d'augmenter les performances sans augmenter le dosage en ciment évitant ainsi les risques de retrait et d'excès de rigidité provoqués par un surdosage en ciment.

Leur efficacité est, en ce domaine fonction de leur nature minéralogique, de leur finesse et de leurs activités hydrauliques ou pouzzolaniques.

Les associations de recherche visent à optimiser le rapport efficacité/coût. Or, en l'absence d'un marché constitué et structuré, on ne peut aujourd'hui se prononcer clairement sur les coûts futurs.

2-3-4- L'eau:

Les bétons de sable nécessitent une qualité d'eau de mouillage importante en raison de la proportion élevée en éléments fins qui génèrent une surface spécifique importante: le rapport eau/ciment (E/C) est supérieur à celui des bétons de gravillons et pour le réduire on a recours à des adjuvants plastifiants et on sélectionne les fillers nécessitant la plus faible quantité d'eau de mouillage. Le rapport E/C est généralement compris entre 0.6 et 0.7.

2-3-5- Les ajouts :

2-3-5-1-Les adjuvants:

Il s'agit de produits chimiques utilisés à faible dose, de la même façon et dans le même but que pour les bétons classiques à savoir l'amélioration des performances. Dans la technique du béton de sable sont principalement utilisés des plastifiants permettant de réduire le dosage en eau et, de ce fait, d'augmenter la résistance et la compacité et de diminuer les risques de retrait excessif; les adjuvants améliorent aussi la maniabilité c'est-à-dire la facilité de mise en œuvre du béton.

2-3-5-2 - Les fibres:

(Sont du type : Polypropylène, acier, fonte amorphe ...) : elles peuvent constituer un renfort de structure, en particulier au jeune âge du béton. Leur rôle dépend de leur nature, leur dosage et leur longueur.

Elles confortent la tenue du matériau. Elles influent notamment sur la vitesse et l'importance du retrait libre.

2-3-5-3 - Les gravillons:

Il est possible de "raidir" (augmenter le module d'élasticité) la formulation d'un béton de sable en y ajoutant des gravillons. dans un rapport gravillon/sable restant inférieur à 1: il s'agit alors d'un béton de sable chargé. Le rapport gravillons/sable est situé entre 1.4 et 1.7 pour le béton classique.

L'ajout de gravillons permet d'augmenter la compacité et à même dosage en ciment la nature de sable se trouve enrichie en ciment.

Les ajouts peuvent être employés soit seuls soit en association; la synergie ainsi créée permet d'augmenter davantage les performances. Cependant, il faudra prendre en compte l'aspect économique et la plus-value que représentent ces ajouts excessifs. L'aspect économique n'est cependant pas limité au coût matière: dans la mesure où le béton de sable peut répondre à un problème mal résolu par le béton classique, un coût équivalent et même une plus-value sont envisageables.

En d'autres termes, pour des utilisations plus adaptables au béton de sable, même si le coût est plus élevé que celui du béton classique, le béton de sable est préféré.

2-3-5-4- Les colorants:

Les colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours au temps.

Il est à signaler que l'emploi de sables naturels locaux, couplé notamment à l'utilisation de ciment blanc, procure souvent des teintes très intéressantes, susceptibles de s'insérer avantageusement dans l'environnement.

2-4 - Formulation du béton de sable :

Dans un béton de sable, il convient de distinguer le ciment, nécessaire à l'obtention d'une résistance suffisante pour l'usage envisagé, et les fines d'ajout nécessaires à l'obtention d'une bonne compacité.

Partant d'un sable donné et d'un dosage en ciment fixé à priori, l'essentiel de l'étude consistera à définir la quantité d'addition pour obtenir compacité et résistance optimales: ce dosage va dépendre de la nature et de la granularité respective du sable et des fines d'ajout.

2-5 - Intérêt des bétons de sable :

2-5-1- Propriétés spécifiques des bétons de sable :

Si la résistance est un critère de performance plus facilement assuré par le béton traditionnel, il existe certains critères pour lesquels le béton de sable se révèle plus performant:

- maniabilité : mise en œuvre facilitée. Énergies de mise en œuvre et de serrage réduites, pompabilité améliorée;
- cohésion et absence de ségrégation: meilleure résistance aux chocs, bétonnage aisé en site aquatique. Coulage en place des pieux et micro-pieux facilité.etc ... ;
- petite granularité: "facilite les travaux d'injection et le bétonnage de pièces à forte densité de ferrailage et/ou à coffrages complexes. Cette propriété est appréciée en travaux de rénovation. d'autant plus que le béton de sable est plus léger que le béton classique;
- bel aspect de surface: le souci esthétique et la qualité du "fini" étant de plus en plus pris en compte dans les constructions.les effets architecturaux et la qualité des parements que le béton de sable permet d'obtenir tendent à devenir des critères déterminants.

2-5-2 -Abondance de la matière première :

Les sables sont des matériaux très abondants, on les trouve dans de nombreux pays en quantité quasi inépuisable.

Par ailleurs les alluvions extraites sont souvent plus riches en sables qu'en gravillons, enfin un certain nombre de grandes carrières ont des excédents de sable de concassage. La consommation en gravillons étant supérieure à produit celle sable.

Dans ces conditions, l'usage du béton de sable en remplacement du béton traditionnel sans faire appel à ses propriétés spécifiques peut conduire à des économies.

2-5-3- Domaine d'emploi :

Le domaine d'emploi actuel du béton de sable est sensiblement équivalent à celui du béton traditionnel.

D'ailleurs, l'usage du béton de sable est plus ancien et s'il a été délaissé, c'est qu'il a été possible d'obtenir à moindres frais des résistances élevées avec des granulats de plus gros diamètres. en définitive:

- ou bien, dans l'usage envisagé, le béton de sable apporte un "plus" technique par rapport au béton classique, et même à coût équivalent il est plus intéressant, dans cette éventualité le coût du sable n'est pas obligatoirement une donnée plus importante qu'elle ne l'est d'ordinaire;
- ou bien, si l'usage envisagé n'exige pas de propriétés particulières, le béton de sable utilisé en remplacement du béton classique peut conduire à des économies là où les sables sont abondants, cette éventualité exige un sable bon marché.

Toutefois, le béton de sable ne peut prétendre au remplacement systématique du béton traditionnel. En effet, d'un point de vue économique, la nécessité des ajouts pour obtenir un même niveau de résistance est susceptible de générer des surcoûts: l'usage concerné et le contexte local en matière d'exploitation de granulats et de disponibilité en sable et filler sont déterminants.

En outre, aux questions qui se posent encore sur le retrait, le fluage et la durabilité des bétons de sable, les actions menées dans le cadre de programmes de recherche devraient apporter des réponses pertinentes et utiles.

Enfin, dans le cadre du projet national SABLOCRETE, en France, beaucoup de réalisations pilotes ont été faites dans les domaines des routes (dalles de chaussées rigides, bordures caniveaux), du bâtiment (dallage parpaings, poutres en béton précontraint I et des ouvrages d'art (pieu foré à la tarière creuse, pieu foré sous bentonite).

2-6 -Limites des bétons de sable :

Dans l'état actuel des connaissances, les bétons de sable ne peuvent pas prétendre au remplacement systématique des bétons classiques. Ceci pour des raisons économiques

Avec le béton de sable, nous pouvons atteindre le niveau de résistance des bétons classiques en multipliant le nombre des ajouts ou en augmentant le dosage en ciment.

Par contre, l'incidence sur le coût est importante et dans la mesure où le béton de sable n'apporte pas un "plus" dans l'usage envisagé, il est préférable de recourir à l'utilisation du béton classique.

Tout sera fonction, évidemment, du contexte local en matière de granulats et de l'usage concerné.

2-7- Avantages et inconvénients des bétons de sable :

2-7-1- Avantages des bétons de sable :

Un béton de ce type permet d'afficher certaines avantages :

-L'ouvrabilité :

Cette capacité du béton de sable à remplir les moules avec une énergie de serrage moindre, sans préjudice pour les autres propriétés du matériau, constitue un atout significatif dans bien des domaines.

C'est ainsi que :

- le béton de sable se révèle apte à garnir les éléments les plus fins ou les plus inaccessibles des moules ;

- le béton de sable conserve sa cohésion, son homogénéité et de bonnes résistances, sans apport d'énergie de serrage ;

- le béton de sable garantit un bon enrobage des aciers, même si le ferrailage est très compliqué, et même quand la vibration est impossible ou inopérant ;

- les distances de pompage sont accrues.

-Qualité d'aspect :

Conséquence de leur ouvrabilité et de leur faible granularité, on peut obtenir facilement avec les bétons de sable des effets architectoniques aussi variés qu'étonnants et séduisants :

- aspect très lisse, type marbre;

- aspect finement grenu, type pierre;

- arêtes parfaitement définies;

- reproduction fidèle de moules extrêmement fins;

- absence de défauts d'aspect, notamment dus à la ségrégation.

-Homogénéité-cohésion :

Composition et granulométrie confèrent aux bétons de sable homogénéité et cohésion.

L'intérêt essentiel en est une réduction significative de la ségrégation, et de tous les déboires qu'elle entraîne. Mais ils offrent aussi une bonne résistance au délavage et une meilleure tenue aux chocs.

-Meilleure durabilité.

2-7-2- Inconvénients des bétons de sable :

- Le retrait plus grand (évaporation de l'eau) ;
- le cout élevé par rapport au béton ordinaire ;
- le rapport eau/ciment (E/C) est supérieur à celui des bétons ordinaire.

2-8- La différence entre le béton de sable et le béton ordinaire concernant Les règles de BAEL 91:

-Déformations longitudinales du béton :

Les bétons de sable sont plus déformables que les bétons classiques , le module instantané peut être évalué au moyen de la formation :

$$E_{ij} = 8\ 100\ f_{cj}^{\frac{1}{3}} \text{ (MPa)}$$

Au lieu de : $E_{ij} = 11\ 000\ f_{cj}^{\frac{1}{3}} \text{ (MPa)}$ pour un béton classique.

Le module différé devient ainsi :

$$E_{vj} = \frac{1}{3} E_{ij} = 2\ 700\ f_{cj}^{\frac{1}{3}} \text{ (MPa)}$$

-Retrait des bétons de sable :

Le retrait des bétons de sable évalué par la relation des prescriptions CEB-FIP (Comité Européen du béton-Fédération Internationale de la précontrainte) est sous-estimé d'environ 33% à long term, la loi issue de l'expérience peut alors s'écrire :

$$\varepsilon_r(t) = 1,33\varepsilon_{r0} [\beta_r(t) - \beta_r(t_0)]$$

avec :

ε_{r0} : Valeur de base du retrait (code CEB-FIP)

$\beta_r(t)$ et $\beta_r(t_0)$ figure E6 du code.

-Diagrammes déformations-contraintes du béton:

Pour les vérifications à l'état limite ultime, on utilise pour le béton un diagramme non linéaire dit « parabole-rectangle » ou bien, dans un but de simplification, le diagramme rectangulaire qui en est déduit.

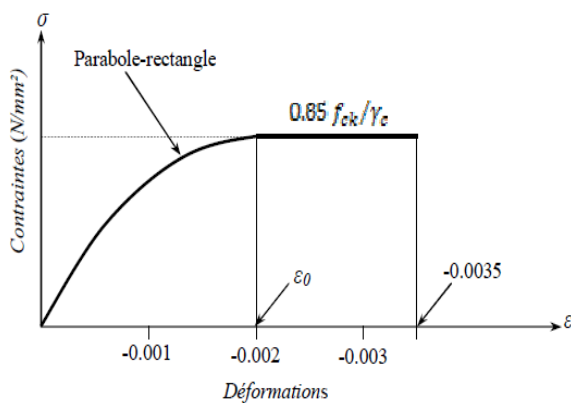


Figure 2.1.a : béton ordinaire

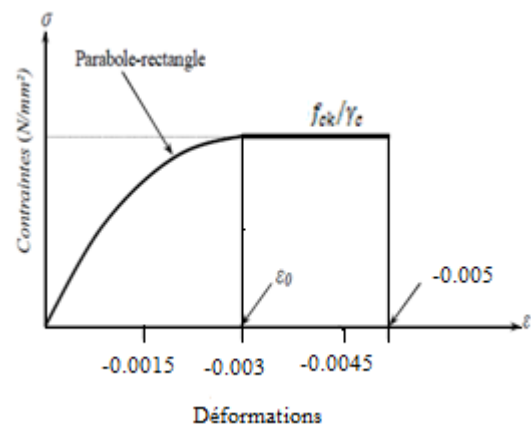


Figure 2.1.b : béton de sable

Figure 2.1 : Diagramme parabole-rectangle de contrainte-déformation du en compression

-Adhérence des aciers en barres:

Il faut privilégier l'utilisation de barres d'acier de faible diamètre (≤ 14 mm) pour utiliser les relations du BAEL 91 concernant l'adhérence acier-béton.

Chapitre 3

CHARGE DE RUNE ET MECANISMES DE RUINE POUR DES ELEMENT DE STRUCTURE ET DE PORTIQUES MULTI-TRAVEES MULTI-ETAGES

3- CHARGES DE RUINE ET MÉCANISMES DE RUINE POUR DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURES ET DE PORTIQUES MULTI-TRAVEES MULTI-ETAGES: [2]

3-1- Introduction:

Les éléments de structures ou structures en génie civil peuvent être isostatiques ou hyperstatiques. Le traitement des structures hyperstatiques est laborieux et fait appel à des méthodes complexes et difficiles à utiliser manuellement. L'apport ces dernières années de l'outil informatique a facilité grandement cette opération. Les éléments de structures ou structures sont en général calculés à l'E.L.U et vérifiés à l'E.L.S. Mais aucun code ne spécifie les charges de ruine ou les mécanismes de ruine (manière de déformation d'une structure sous une combinaison de charges extérieures). Ceci ne peut avoir lieu qu'en laboratoire ou après un séisme sévère (structures ou éléments de structures poussés à l'extrême). La charge de ruine est de facto différente de la charge à l'E.L.U.

L'objectif primordial de l'étude plastique des structures est de répondre à cette attente. C'est-à-dire la détermination de vraies charges de ruine et des vrais mécanismes de ruine, leur connaissance donne une idée précise sur la vraie marge de sécurité d'un élément de l'ouvrage ou de l'ouvrage lui même.

L'analyse plastique des structures hyperstatiques consiste à considérer qu'au fur et à mesure que la charge augmente il y'a apparition de rotules plastiques à chaque fois que le moment dans une section donnée atteint la valeur du moment plastique. Ce dernier est indépendant du chargement ou de sa nature. Il est une caractéristique de la section elle même et ne dépend que des caractéristiques géométriques et mécaniques de celle-ci

Évidement si r rotules plastiques se forment au total, la structure devient un système isostatique (r étant le degré d'hyperstaticité) elle se transforme en un mécanisme immédiatement avec la naissance ou création ou développement de la $(r+1)$ nième rotule plastique.

3-2 -Théorèmes fondamentaux de l'analyse plastique des structures:

3-2-1- Introduction:

L'analyse plastique des structures a pour objet de calculer la charge réelle de ruine d'une partie de structures ou de structures et les mécanismes de ruine correspondants. La détermination du facteur de charge de ruine, λ_c , ainsi que les mécanismes de ruine des structures dépend essentiellement de la satisfaction des trois conditions du vrai mécanisme de ruine à savoir la condition d'équilibre, la condition d'écoulement et la condition de mécanisme.

La figure (3-1) présente les trois conditions, où les flèches indiquent les conditions qui ont été satisfaites.

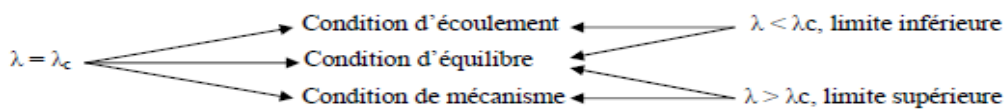


Figure 3.1 : Conditions du vrai mécanisme de ruine en fonction de λ

3-2-2- Théorème de la limite inférieure:

Si, dans une structure soumise à un chargement défini par un facteur de charge positif, λ , une distribution des moments fléchissants satisfaisant les conditions d'équilibre et d'écoulement peut être trouvée, ensuite λ inférieur, ou égal au facteur de charge de ruine λ_c . Dans ce cas la valeur de λ est une limite inférieure pour λ_c .

3-2-3- Théorème de la limite supérieure:

Dans ce cas la distribution des moments fléchissants dans les structures ne vérifie que les conditions d'équilibre et de mécanisme, le facteur de charge correspondant, λ , est supérieur ou égal au facteur de charge de ruine, λ_c , la valeur de ce facteur est une limite supérieure pour λ_c .

3-2-4- Théorème de l'unicité:

Si une structure est soumise à un chargement défini par un facteur de charge positif, λ , et une distribution des moments fléchissants qui satisfait les trois conditions peut être trouvée, alors $\lambda = \lambda_c$. Il est impossible d'obtenir une autre distribution des moments fléchissants pour

n'importe quelle autre valeur de λ qui satisfait les trois conditions simultanément.

3-3- Détermination des charges de ruine et mécanismes de ruine d'un portique simple :

3-3-1 Méthode « pas à pas »:

3-3-1-1- Introduction:

Pour mieux comprendre le comportement des portiques hyperstatiques soumis à des combinaisons de charge horizontale et verticale croissante jusqu'à la ruine, il a été jugé utile de considérer carrément un exemple d'un portique simple et d'étudier son comportement après la formation des rotules plastiques et ce jusqu'à la transformation de la structure en un mécanisme partiel ou total. Ceci permettra de mettre en lumière les quelques théorèmes importants et essentiels cités ci-dessus de l'analyse plastique des structures.

3-3-1-2- Caractéristiques du portique:

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du portique simple et les points d'application des charges concentrées verticales, λV , et horizontales, λH , et les sections critiques de A à E, sont représentés sur la figure (3-2) :

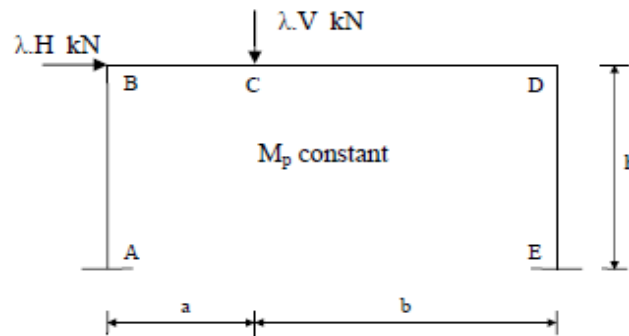


Figure 3.2 : Portique simple à une travée et un niveau

3-3-1-3- Traitement du portique:

Le portique représenté sur la figure (3-2) supporte les charges concentrées verticales λV et horizontales λH , où λ est le facteur de charge. Il est supposé initialement que $V=H=1$ kN, le comportement du portique quand λ est augmenté, est résumé dans la figure (3-3). Au début de ce processus, le comportement du portique est élastique (c'est-à-dire le

comportement des sections critiques est élastique), et une analyse élastique donne un diagramme des moments fléchissant représenté dans l'étape N°1. Quand $\lambda=38.91$ le plus grand moment fléchissant se trouve au niveau de l'encastrement droit (point E), ce dernier devient égal au moment plastique ($M_p= 100 \text{ kN.m}$) et une rotule plastique se forme au niveau de cette section critique.

Evidemment, la structure entière en dehors de la section, E, est encore élastique et le demeure quand la valeur du facteur de charge, λ , est au dessus de 38.91. Et La section, E, se comporte comme une rotule mécanique et de ce fait elle peut pivoter librement. Le moment fléchissant au point E doit rester égal au moment plastique.

L'étape N°2 représente la structure effective qui résiste au chargement quand λ est augmenté. C'est simplement le portique originel avec une rotule sans frottement au point E (la rotule physique est remplacée par une rotule mécanique). Cette structure peut être réanalysé par la même méthode élastique comme à l'étape N°1.

Le résultat de l'analyse est le changement en moments fléchissants. Pour obtenir les moments totaux, il est nécessaire d'ajouter le changement (différence) en moments fléchissants aux moments fléchissants quand $\lambda=38.91$ (N.B : la rotule sans frottement en E assure que le changement en moments fléchissants en E est nul, de telle sorte que le moment reste égal au moment plastique, dans ce cas le moment maximum est sous la charge concentrée verticale au niveau de la section critique point C.

$M_c= 82.7 \text{ kN.m}$ étant le deuxième plus grand moment de l'étape N°2

$$M_c=82.7 + 2.47\lambda' = M_p =100 \text{ kN.m d'où } \lambda' = 7$$

D'où la nouvelle valeur de $\lambda= 38.91+ 7= 45.91$.

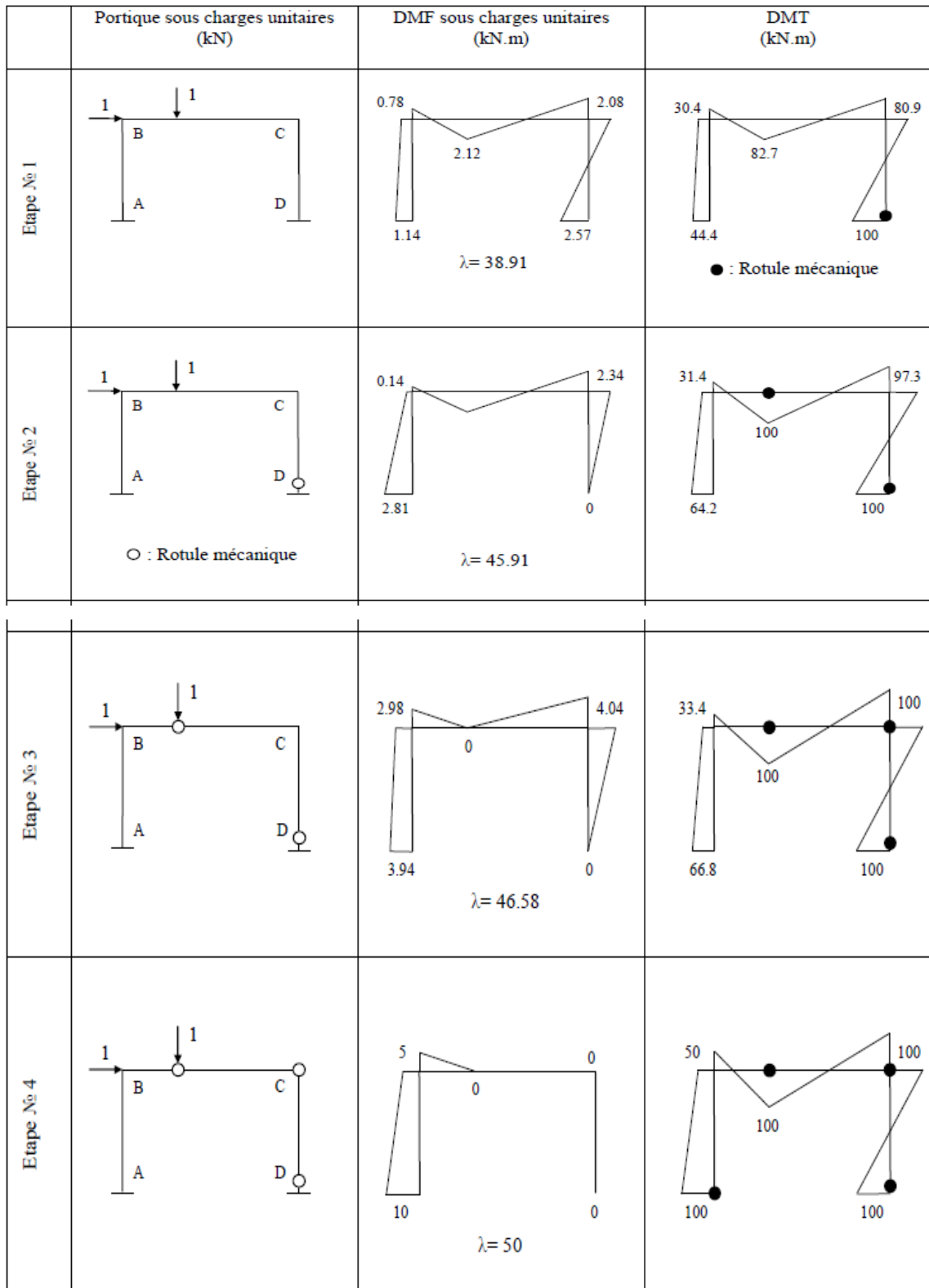


Figure 3.3 : Détermination du mécanisme de ruine d'un portique par la méthode « pas à pas »

Comme l'indique l'étape N°3, à partir de ce moment il y'a deux pivots (rotules) dans la structure effective qui peut quand même être analysée élastiquement. Très rapidement, cependant, une rotule se forme au niveau de la section critique (point D) quand λ atteint la valeur de 46,58.

$$M_D = 97.3 + 4.04\lambda'' = M_p = 100 \text{KN.m d'où } \lambda'' = 0.67$$

$$\text{D'où la nouvelle valeur de } \lambda = 45.91 + 0.67 = 46,58$$

Le processus peut continuer à l'étape N°4 avec trois rotules sans frottement jusqu'à ce que la valeur de λ atteigne la valeur de 50, le moment max de l'étape N°3 se trouve au niveau de la section critique (point A).

$$\text{D'où } M_A = 66.8 + 10\lambda''' = M_p = 100 \text{KN.m d'où } \lambda''' = 3.32$$

$$\text{D'où la nouvelle valeur de } \lambda = 46,58 + 3.32 = 49.9$$

A ce moment, une quatrième rotule plastique prend naissance.

Il est intéressant de remarquer deux points au sujet du moment fléchissant total représenté dans la figure (3-3).

- La distribution des moments fléchissants est en équilibre avec les charges appliquées, la condition d'équilibre est l'une des conditions fondamentales requise par la méthode « pas à pas ».
- Les moments fléchissants ne dépassant nulle part, le moment plastique des membres, ceci étant la condition d'écoulement.

Toute tentative de continuer le processus utilisant une structure effective avec quatre rotules sans frottement est impossible, puisque les équations deviennent singulières et ne peuvent pas être résolues. En fait la structure devient un mécanisme.

La distribution des moments fléchissants à ce point satisfait la condition d'équilibre et la condition d'écoulement et en plus :

- Il y'a suffisamment de rotules plastiques ($n=r+1=3+1=4$) pour la structure pour qu'elle devienne un mécanisme, ceci étant la condition de mécanisme [7].

La courbe représentée dans la figure (3-4), définit la relation entre le facteur de charge pour chaque étape en fonction des déplacements horizontaux du portique simple à une travée et à un étage figure (3-3).

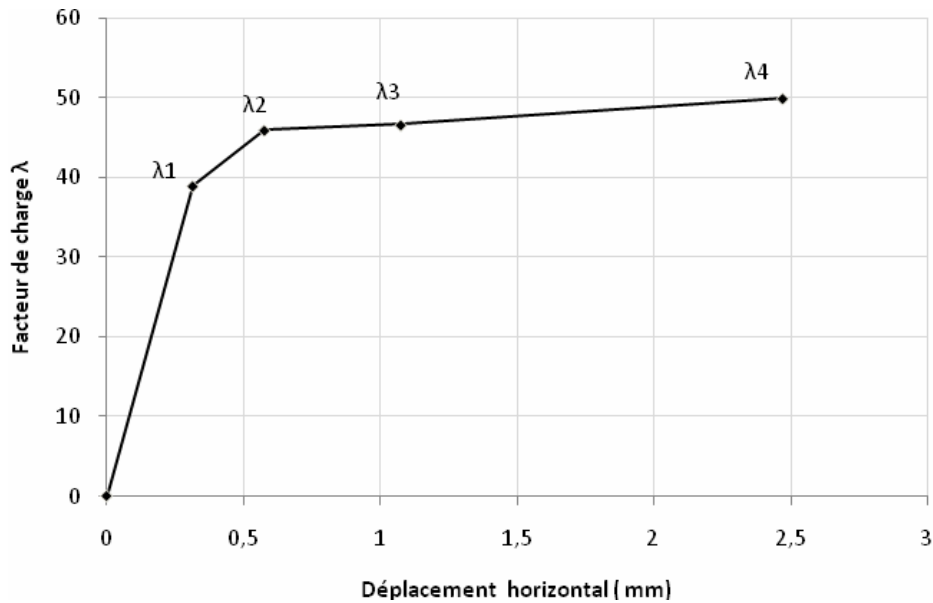


Figure 3.4 : Courbe facteur de charge λ en fonction du déplacement horizontal du portique simple

3-4-2 -Méthode cinématique:

3-4-2-1 -Introduction:

Le présent paragraphe a pour objet la détermination des charges de ruine et les mécanismes de ruine d'un portique simple composé d'une travée et d'un niveau (figure 3-5).

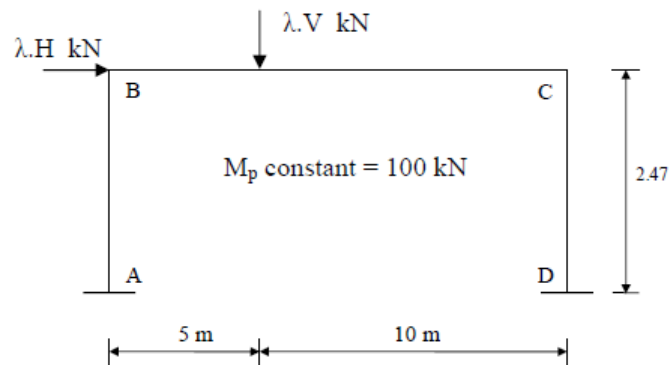


Figure 3.5 : Portique simple à une travée et un niveau

Ce portique est trois fois hyperstatique, il ne devient un mécanisme qu'après la formation de quatre rotules plastiques. A cet effet les charges de ruine et les mécanismes de ruine de ce portique sont déterminés par une série de combinaisons des mécanismes élémentaires et ce à cause de la complexité de ce dernier Comparativement aux poutres

doublement encastrées. Cette méthode est basée sur le principe des déplacements virtuels, elle consiste à combiner les différents mécanismes élémentaires de ruine, m , ($m=p-r$, où p représente le nombre de sections critiques) jusqu'à l'obtention du plus petit facteur de charge, λ_c . Le mécanisme et la charge de ruine de chaque combinaison sont obtenus à partir de l'égalité du travail produit par les charges extérieures $\sum P_i \cdot \delta$ et le travail produit par les efforts internes $\sum M_p \cdot \theta$ (ce travail est obtenu par rotation des différentes rotules plastique).

Les possibles déformés du portique sont représentées dans les figures (3-6 à 3-8) et dépendent essentiellement de la valeur des deux charges λ_V et λ_H . Le portique se transforme en un mécanisme de panneau ou « Sway mechanism » si la charge horizontale est prépondérante, si la charge verticale est prépondérante, il se produit un mécanisme de poutre ou "Beam mechanism" où un mécanisme combiné "Combined mechanism" avec la participation des deux charges.

La combinaison des charges verticales λ_V et horizontales λ_H provoque la formation de deux ($m=p-r=5-3=2$, où p représente le nombre de sections critiques) mécanismes élémentaires et un troisième avec la combinaison des deux.

3-4-2-2 -Beam mechanism:

Dans ce cas, la ruine de la structure est causée par la charge concentrée verticale λ_V , le mécanisme et l'emplacement des rotules sont représentés dans la figure (3-6). Le schéma de calcul était celui d'une poutre encastrée aux deux extrémités (les noeuds des portiques sont assimilés à des encastremets parfaits).

La géométrie de la structure nous permet d'écrire l'équation:

$$\delta = a \cdot \theta = b \cdot \varphi \quad \text{D'où} \quad \varphi = \frac{a}{b} \cdot \theta$$

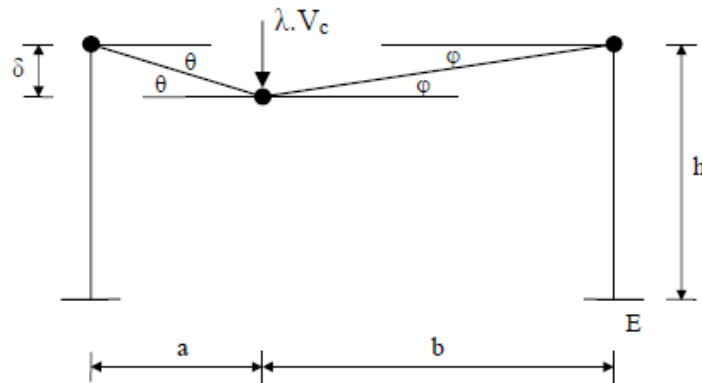


Figure 3.6 : « Beam mechanism »

La charge concentrée verticale provoque la formation des trois rotules plastiques, ainsi que le déplacement virtuel δ , le travail extérieur est égal au produit $\lambda V \cdot \delta$, le travail interne est égal à la somme des produits du moment plastique fois les rotations virtuelles $\Sigma M_p \cdot \theta_i$.

$$\lambda V_c \cdot \delta = M_p \cdot \theta + M_p \cdot \varphi + M_p (\theta + \varphi) \quad (3-1)$$

$$\lambda V_c \cdot a\theta = M_p \cdot \theta + M_p \cdot \frac{a}{b}\theta + M_p (\theta + \frac{a}{b}\theta)$$

$$\lambda V_c = \frac{2 \cdot l}{a \cdot b} M_p \quad (3-2)$$

Pour une charge unitaire de $V=1$ kN , $a=5$ m et $b=10$ m

$\lambda=60$

3-4-2-3 -Sway mechanism:

L'effort horizontal λH transforme la structure en un mécanisme de panneau ou étage ou "Sway mechanism", suite à la naissance de quatre rotules plastiques au droit des sections critiques (figure 3-8).

La géométrie de la structure nous permet d'écrire l'équation :

$$\Delta = h \cdot \theta$$

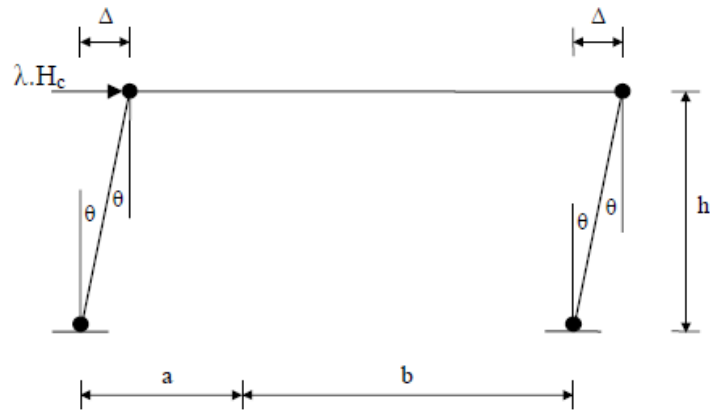


Figure 3.7 : « Sway mechanism »

Avec le même principe des déplacements virtuels, on peut calculer facilement le facteur de charge de ruine de ce mécanisme :

$$\lambda H_c \cdot \Delta = 4M_p \cdot \theta \quad (3-3)$$

$$\lambda H_c \cdot h\theta = 4M_p \cdot \theta$$

$$\lambda H_c = \frac{4}{h} M_p \quad (3-4)$$

Pour une charge unitaire de $H=1$ kN, et $h=5$ m

$\lambda=80$

3-4-2-4- Combined mechanism:

Le mécanisme représenté dans la figure (3-8) produit par la combinaison des deux mécanismes élémentaires, ces dernières provoquent des déformations du portique dans les deux sens avec naissance de quatre rotules plastiques .le facteur de charge peut être calculé à partir :

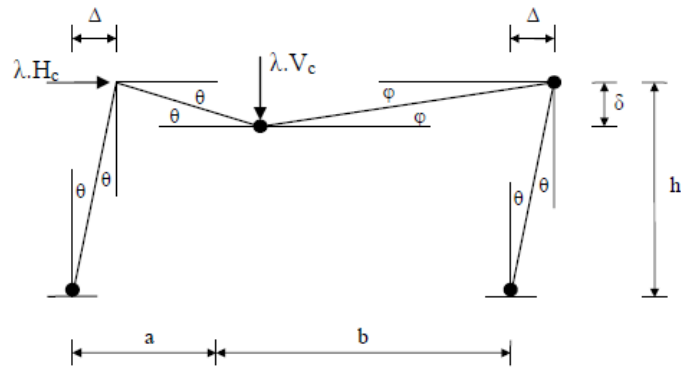


Figure 3.8: « Combined mechanism »

$$\lambda V_c \cdot \delta + \lambda H_c \cdot \Delta = \frac{2 \cdot l}{a \cdot b} M_p \cdot \theta + \frac{4}{h} M_p \cdot \theta - M_p \cdot \theta - M_p \cdot \theta \quad (3-5)$$

« external « external « internal « Internal “ internal

Work ,beam mechanism » Work ,sway mechanism » Work ,beam mechanism » Work ,sway mechanism » Work, at hinge which has disappeared”

$$\lambda V_c \cdot a \theta + \lambda H_c \cdot h \theta = \frac{2 \cdot l}{a \cdot b} M_p \cdot \theta + 4 M_p \cdot \theta - 2 M_p \cdot \theta$$

$$\lambda V_c \cdot a + \lambda H_c \cdot h = \left(\frac{2 \cdot l}{b} + 2 \right) \cdot M_p \quad (3-6)$$

Pour H= V= 1 kN, a = 5m, b =10m et h = 5m

$\lambda = 50$

Il est constaté que ce mécanisme a la plus petite valeur du facteur de charge, donc $\lambda_c = 50$ d'où le diagramme des moments fléchissants au moment de la ruine est le suivant :

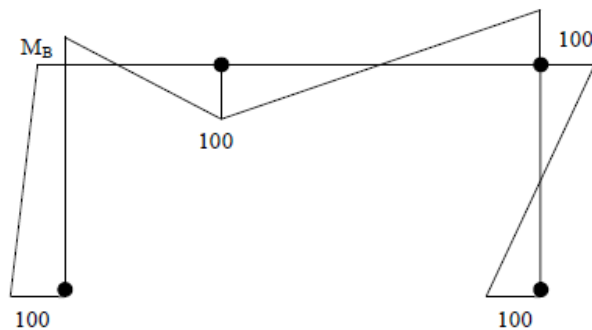


Figure 3.9 : Diagramme des moments fléchissants du portique simple au moment de la ruine

Pour calculer la valeur du moment au niveau de la section B, il faut utiliser le théorème du moment libre et de réaction :

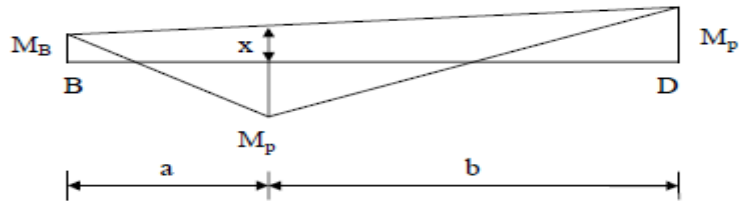


Figure 3.10 : diagramme des moments fléchissants poutre B-D

$$M_{\text{libre}} = \frac{V \cdot a \cdot b}{l} = M_p + X \quad (3-7)$$

D'où $X = 66.67 \text{ kN.m}$

D'après le diagramme des moments fléchissants on a :

$$\frac{M_p - M_B}{15} = \frac{X - M_B}{5}$$

D'où $M_B = 50 \text{ KN.m}$, le diagramme des moments est comme suit :

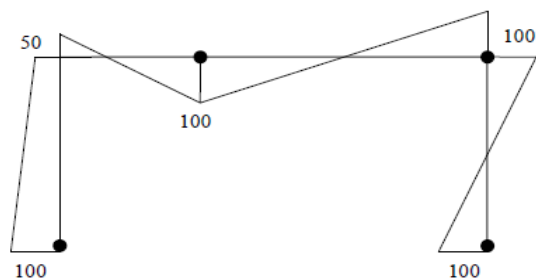


Figure 3.11 : Diagramme des moments fléchissants total du portique simple au moment de la ruine

Les trois conditions du vrai mécanisme, condition d'équilibre, d'écoulement et de mécanisme sont satisfaites.

3-4-2-5- Effets du rapport $\lambda V/\lambda H$:

Le présent paragraphe a pour objet l'étude de l'influence du rapport entre la charge concentrée verticale, λV , et la charge concentrée horizontale, λH , $\alpha = \lambda V/\lambda H$, sur la charge de ruine du portique simple a une travée et un niveau (figure 3-12).

D'après le paragraphe précédent, on a trois types de mécanismes de ruine avec trois charges de ruine correspondantes du portique en question. En introduisant la relation linéaire entre ces deux charges, $\lambda V = \alpha \cdot \lambda H$ dans les relations caractérisant chaque mécanisme et ce pour les données suivantes :

$$a=5m$$

$$b=10m$$

$$h=5m$$

Pour le « beam mechanism » ou mécanisme I on a :

$$\lambda H = \frac{3}{5\alpha} M_p \quad (3-8)$$

Pour le « sway mechanism » ou mécanisme II on a :

$$\lambda H = \frac{4}{5} M_p \quad (3-9)$$

Pour le « combined mechanism » ou mécanisme III on a :

$$\lambda H = \frac{1}{1+\alpha} M_p \quad (3-10)$$

Pour une valeur unitaire du moment plastique $M_p = 1 \text{ kN.m}$, on peut construire les courbes traduisant la relation entre la charge de ruine horizontale et le rapport α et ce pour chaque mécanisme de ruine. On peut constater que pour chaque valeur de α trois valeurs différentes de charge de ruine chacune correspondant à l'un des mécanismes de ruine.

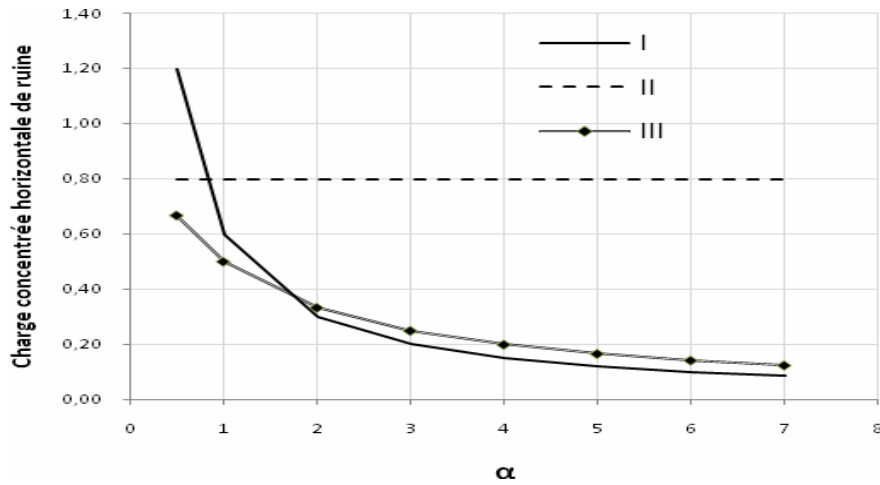


Figure 3.12 : Relation entre la charge de ruine horizontale et le rapport α

3-4-2-6- Construction des diagrammes d'interaction:

Afin d'illustrer le comportement du portique représenté dans la figure (3-5) vis-à-vis des combinaisons de charges horizontales et verticales, il est nécessaire de représenter la relation entre ces deux charges par un diagramme d'interaction figure (3-13). Il s'agit de la relation entre les deux charges de ruine représentée dans le système de coordonnées (λV , λH). ce diagramme permet de déterminer le type de mécanisme de ruine et la charge de ruine correspondante.

$a=5\text{m}$

$b=10\text{m}$

$h=5\text{m}$

$M_p=100 \text{ kN.m}$

- "Beam mechanism" (I) pour : $\lambda V_c=60 \text{ kN}$ et $\lambda H \in [0, 40]$

- "Sway mechanism" (II) pour : $\lambda H_c = 80 \text{ kN}$ et $\lambda V \in [0, 20]$

- "Combined mechanism" (III) pour : $\lambda V + \lambda H = M_p$

Avec $\lambda H \in [40, 80]$

Avec $\lambda V \in [20, 60]$

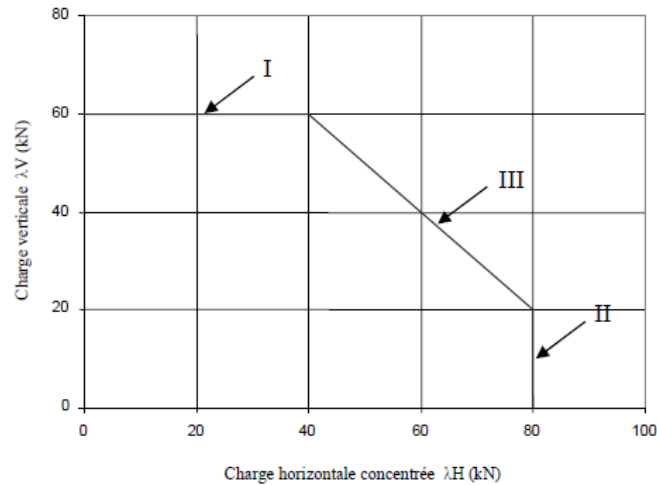


Figure 3.13 : Diagramme d'interaction du portique simple.

3-5- Détermination des charges de ruine et mécanismes de ruine d'une structure multi-étagée multi-travée:

3-5-1- Introduction:

La méthode utilisant le théorème du moment libre et moments de réaction est utilisée pour des éléments structuraux simples (poutre simplement appuyée, console retenue, poutre continue,...) et elle peut être exploitée pour la détermination des moment inconnus dans un portique où le nombre de sections critiques est supérieur au nombre de rotules nécessaires pour sa transformation en un mécanisme. Quand la structure devient multi-étagée multi-travée son utilisant pour la détermination de devient quasiment impossible (plus d'inconnus géométriques que de relations des moments inconnus).

La méthode utilisant les concepts des travaux virtuels devient laborieuse quand la structure dépasse un niveau et une travée. Les équations deviennent très lourdes à reprendre. Les méthodes pouvant contourner les difficultés dont l'analyse limite, la méthode « pas à pas » et la méthode « pushover » dont l'utilisation nécessite une connaissance en informatique et une exploitation judicieuse du logiciel existant SAP 2000.

3-5-2- Analyse limite:

Il y'a des programmes disponibles qui suivront la formation des rotules plastiques et calculent la charge de ruine ou le facteur de charge de ruine pour une telle structure. Surtout si cette dernière dépasse un niveau et une travée.

Cependant, une méthode manuelle est également disponible, et il n'est pas difficile de l'employer et d'avoir une idée précise sur son mode de déformation au moment de la ruine. Elle est présentée en ci après, de manière assez précise. La limitation principale de la dite méthode est que le chargement doit être proportionnel, de sorte que les intensités relatives des différentes charges demeurent constantes et l'intensité absolue est définie par un facteur de charge, λ . Un calcul séparé peut être effectué pour chaque combinaison de charges.

Le principal objectif de la méthode est la détermination du facteur de charge de ruine, λ_c , ou à la limite la détermination du plus petit intervalle possible englobant cette valeur.

Les étapes principales à suivre dans l'analyse sont données chronologiquement ci après:

i) Identifier les mécanismes élémentaires et les équations de travail correspondantes, et déterminer pour chacun de ces mécanismes le facteur de charge de ruine correspondant.

ii) Entamer l'opération de combinaison entre les différents mécanismes élémentaires en commençant par celui qui aura donné la plus petite valeur de λ , combiner les mécanismes pour éliminer les rotules plastiques en maintenant localement la géométrie originale de la structure (garder les membres droits ou les joints perpendiculaires, par exemple). Trouver le facteur de charge de chaque mécanisme combiné.

iii) Le plus petit facteur de charge est le plus proche du facteur de charge de ruine de la structure (conformément au théorème de la limite supérieure).

iv) Etablir le mécanisme en trouvant le diagramme des moments fléchissants correspondant. Si le diagramme des moments fléchissants satisfait les conditions d'écoulement, de mécanisme et d'équilibre, le mécanisme est le vrai mécanisme de ruine de la structure. Le facteur de charge est égal au facteur de charge de ruine. Au cas où ce diagramme fait ressortir des moments supérieurs aux moments plastiques correspondants alors la

condition d'écoulement n'est pas satisfaites et le mécanisme n'est pas le vrai et le facteur de charge λ_u est plus grand que le facteur de charge de ruine λ_c .

v) À cet instant il faut ramener le plus grand moment fléchissant au niveau du moment plastique correspondant. Cette réduction menée de manière proportionnelle va entraîner une diminution de rotules plastiques ($M < M_p$) et de ce fait la valeur de λ est une limite inférieure λ_l (conformément au théorème de la limite inférieure).

vi) La vraie valeur du facteur de charge de ruine λ_c est ainsi cernée entre λ_l et λ_u , de sorte que :

$$\lambda_l \leq \lambda_c \leq \lambda_u$$

La procédure s'avère être laborieuse et la détermination de, λ_c , est, dans la plupart des cas, donnée par intervalle et le vrai mécanisme de ruine ne peut être obtenu car les trois conditions ne peuvent être satisfaites simultanément. Pour $\lambda = \lambda_u$ la condition d'écoulement n'est pas satisfaite alors que pour $\lambda = \lambda_l$ la condition de mécanisme n'est pas satisfaite.

3-5-3- Méthode « pas à pas »:

Elle consiste à analyser et réanalyser la structure statiquement étape par étape jusqu'à l'obtention de la (r+1)ième rotule plastique. La dernière étape donne forcément le mécanisme de ruine de cette structure.

Ce mécanisme doit satisfaire théoriquement les trois conditions fondamentales de l'analyse plastique des structures, à savoir la condition d'écoulement, de mécanisme, et d'équilibre simultanément.

3-5-4- Méthode non linéaire « pushover »:

3-5-4-1- Introduction:

Une évaluation fiable du comportement d'une structure ou d'un portique multi travée et multi étagé face à un tremblement de terre, en terme de dommages, requiert un outil permettant une analyse des structures au delà du domaine élastique.

La méthode d'analyse de type « pushover », représente une nouvelle approche d'estimation de dommages, incluant notamment les effets du comportement post-élastique.

3-5-4-2- Définition de l'analyse « pushover »:

L'analyse « pushover » est une analyse statique non-linéaire de la structure permettant de présenter de façon simplifiée le comportement de la structure (elle tient compte du phénomène de redistribution des moments fléchissants) et ce sous l'effet de différents types de charges statiques ou dues au tremblement de terre.

L'analyse « pushover » se compose de quelques étapes présentées ci-dessous :

- définition des rotules plastiques dans le modèle de calcul de la structure
- affectation des propriétés non-linéaires aux rotules (diagrammes force déplacement ou moment-rotation)
- analyse « statique » ou modale de la structure
- définition du jeu de forces transversales ou verticales
- définition du nœud de contrôle et de la direction et valeur du déplacement admissible
- définition des paramètres de l'analyse non-linéaire

3-6- Cas particuliers:

3-6-1- Cas d'un portique à deux niveaux et une travée [3]:

3-6-1- 1- Introduction:

Ce qui est donné dans la littérature de l'analyse plastique des structures avec suffisamment de détails concerne les structures allant de la poutre simple au portique d'un niveau et d'une travée. Boukeloua [3] a opté pour un portique témoin le plus simple après le « single bay single storey » à savoir un portique de deux niveaux et d'une travée lors de l'élaboration de sa thèse de magister [3].

3-6-1-2 présentation du portique:

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du portique et les points d'application des charges concentrées verticales, λV , et horizontales, λH , sont représentés ci dessous sur la figure.3-14-a :

$$l = 6\text{m} ; h = 3\text{m}$$

$$M_{pb} = 200 \text{ kN.m} ; M_{pc} = 150 \text{ kN.m}$$

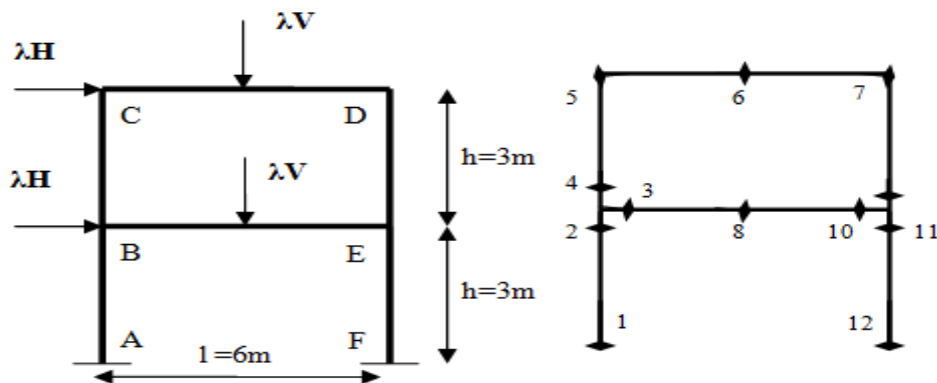
$$r = 6$$

$p = 12$ numérotées de 1 à 12 figure (3-14-b)

$$m = p - r = 6$$

Le nombre de rotules nécessaires pour avoir un mécanisme de ruine $n = r + 1 = 7$

Le portique en question comprend deux encastremets, A et F, deux joints, B et E (rencontre de plus de deux éléments), et deux nœuds C et D (rencontre de deux éléments).



a) dimensions et chargement

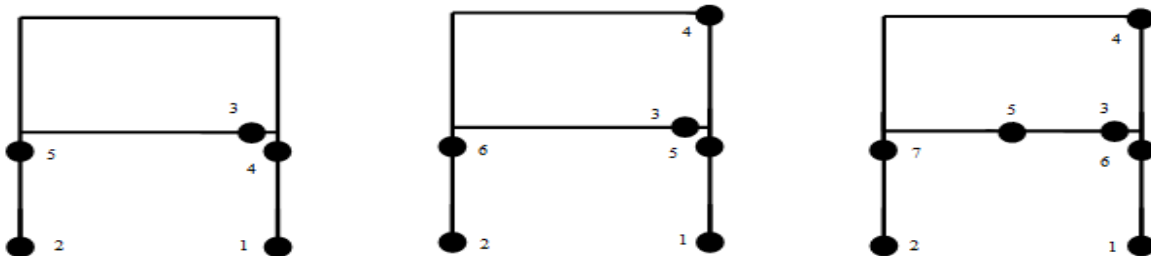
b) position des sections critiques

Figure 3.14 : présentation du portique témoin testé par Boukeloua [2]

3-6-1-3 Mécanismes De Ruine:

- Les mécanismes de ruine obtenus après l'analyse plastique du portique testé:

en utilisant la méthode « pas à pas » sont résumés dans la figure (3-15) pour la première combinaison de $h/M_{pc} = 3/150 = 0.02 \text{ kN}^{-1}$ et $l/M_{pb} = 6/200 = 0.03 \text{ kN}^{-1}$.



a- mécanisme de ruine pour

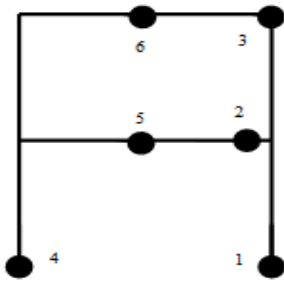
$$\alpha \leq 0,5$$

b- mécanisme de ruine pour

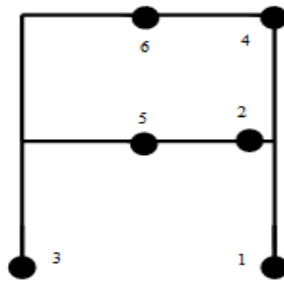
$$0,5 < \alpha < 1,5$$

c- mécanisme de ruine pour

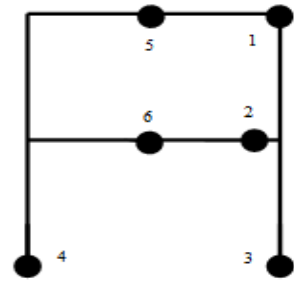
$$\alpha = 1,5$$



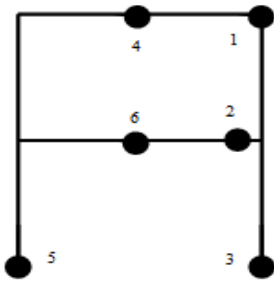
d- mécanisme de ruine pour
 $\alpha=1,6$



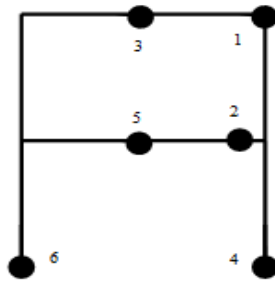
e- mécanisme de ruine pour
 $\alpha =2$



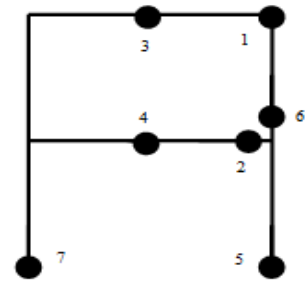
f- mécanisme de ruine pour
 $\alpha = 2,5 \text{ et } 2,67$



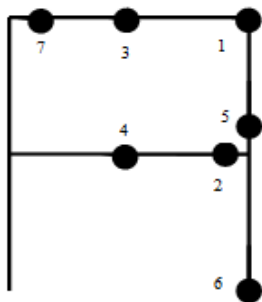
g- mécanisme de ruine pour
 $\alpha=3 \text{ et } 3,33$



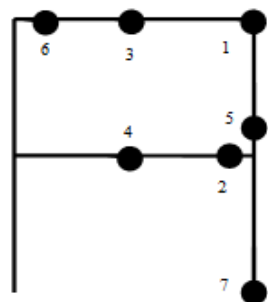
h- mécanisme de ruine pour
 $\alpha =4$



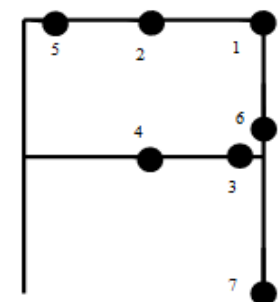
i- mécanisme de ruine pour
 $\alpha =5$



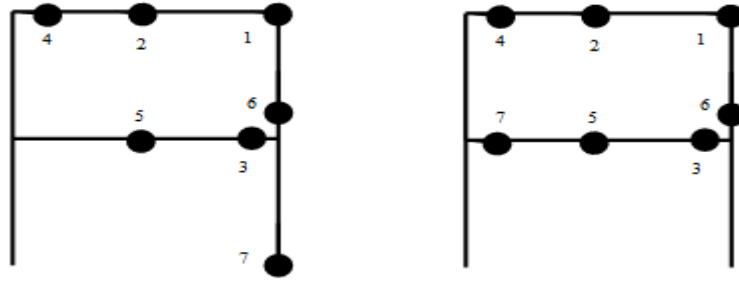
j- mécanisme de ruine pour
 $\alpha=6$



k- mécanisme de ruine pour
 $\alpha =6,5$



l- mécanisme de ruine pour
 $\alpha =7 \text{ et } 8$



m- mécanisme de ruine pour

$\alpha=9$ et 10

n- mécanisme de ruine pour

$\alpha \geq 11$

Figure 3.15 : Les différents types de mécanisme de ruine en fonction de α pour la combinaison de $M_{pb} = 200 \text{ kN.m}$ et $M_{pc} = 150 \text{ kN.m}$

Les principales constatations :

- Pour la valeur de α , $\alpha < 1,5$ des « lower sway mechanisms » sont observés
- Un « double combined mechanism » se produit pour $1,5 < \alpha \leq 5$
- La valeur de $\alpha = 5$ comme celle de $\alpha = 1.5$ peuvent être considérée comme des valeurs frontières ou des valeurs « tampon »
- pour des valeurs de $\alpha > 5$ un « top beam mechanism » s'est développé
- Pour $\alpha \geq 11$ un « double beam mechanism » s'est produit

3-6-1-4 Représentation graphique

Boukeloua [3] est arrivé à la construction des diagrammes d'interaction du portique testé à deux niveaux et une travée (figure 3-16) similairement à ce qui est donné pour un portique à un niveau et une travée « single bay single storey » représenté sur la figure (3-13).

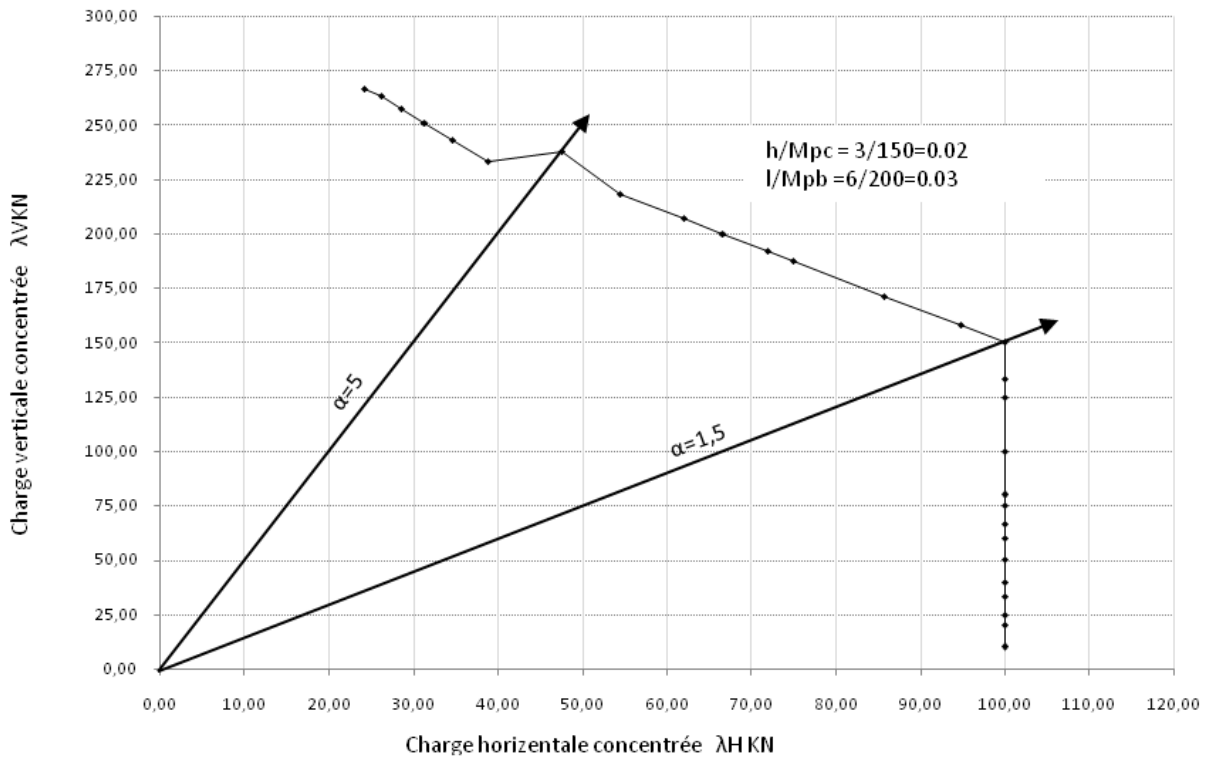


Figure 3.16 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH pour la combinaison de $h/M_{pc} = 3/150 = 0.02 \text{ KN}^{-1}$ et $l/M_{pb} = 6/200 = 0.03 \text{ KN}^{-1}$

3-6-1-5 -Synthèse:

Les principales conclusions:

- La variation géométrico-mécanique des poutres et des poteaux a une influence directe sur les mécanismes de ruine et charges de ruine.
- La variation de l et h sans rapport avec les valeurs respectives des M_{pb} et M_{pc} n'a aucun sens.
- Le rapport $\alpha = V/H$ agit directement sur les mécanismes de ruine et charges de ruine.
- Il a été identifié trois intervalles de α ayant trait aux différents mécanismes.

3-6-2- Cas d'un portique multi travées multi étagées (Bader Rached [4]):

3-6-2- 1- Introduction:

Bader [4] a opté pour trois portiques multi travées multi étagées à savoir: P3N3T, P3N4T et P4N3T lors de l'élaboration de sa thèse de magister [4].

3-6-2-2- présentation des trois portiques retenus :

i) -Caractéristiques Du P 3N 3T (portique de base):

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du **P 3N 3T** (portique de base) et les points d'application des charges concentrées verticales et horizontales, λV , et horizontales, λH , ($V = H = 1 \text{ kN}$) sont représentés sur la figure (3-17-a) :

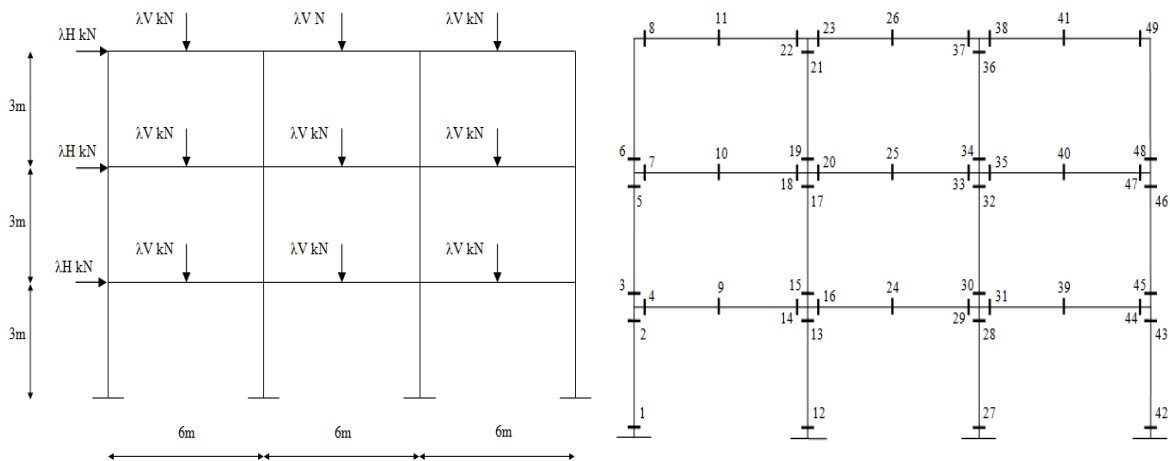
Une combinaison de charges concentrées verticales et horizontales a été réalisée avec $h/M_{pc}=3/200=0.015 \text{ kN}^{-1}$ et $l/M_{pb}=6/150=0.04 \text{ kN}^{-1}$.

$$l = 6\text{m}$$

$$h = 3\text{m}$$

$$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$$

$$M_{pc} = 200 \text{ kN.m}$$



a) dimensions et chargement en élévation

b) numérotation des sections critiques

Figure 3.17 : Présentation du P 3N 3T (portique de base)

ii) -Caractéristiques Du P 3N 4T :

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du **P 3N 4T** et les points d'application des charges concentrées verticales et horizontales, λV , et horizontales, λH , ($V = H = 1 \text{ kN}$) sont représentés sur la figure (3-18-a) :

Une combinaison de charges concentrées verticales et horizontales a été réalisée avec $h/M_{pc}=3/200=0.015 \text{ kN}^{-1}$ et $l/M_{pb}=6/150=0.04 \text{ kN}^{-1}$.

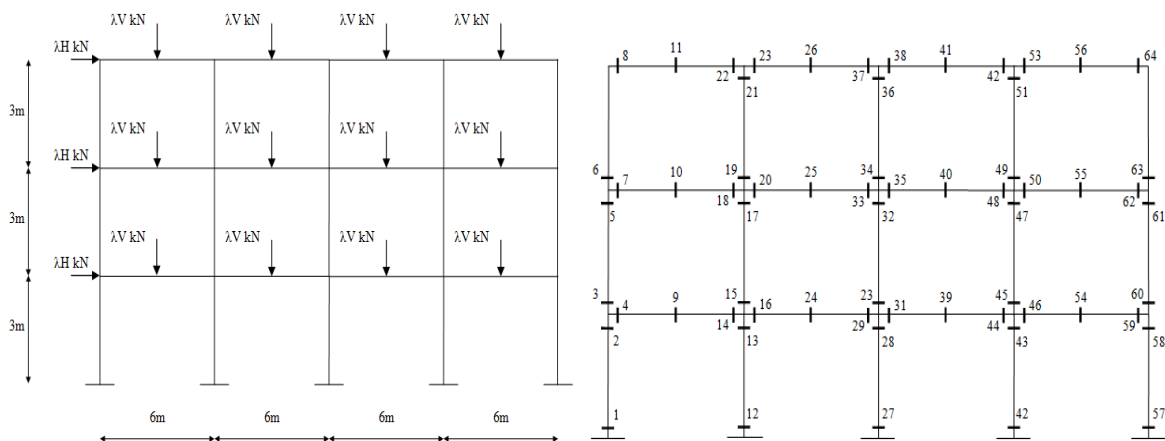
N.B : les charges latérales (horizontales) sont appliquées uniquement pour déterminer les mécanismes de ruine et les charges de ruine du portique témoin non endommagé.

$l = 6\text{m}$

$h = 3\text{m}$

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 200 \text{ kN.m}$



a) dimensions et chargement en élévation

b) numérotation des sections critiques

Figure 3.18 : Présentation du P 3N 4T

iii) -Caractéristiques Du P 4N 3T :

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du **P 4N 3T** et les points d'application des charges concentrées verticales et horizontales, λV , et horizontales, λH , ($V = H = 1 \text{ kN}$) sont représentés sur la figure (3-19-a) :

Une combinaison de charges concentrées verticales et horizontales a été réalisée avec $h/M_{pc}=3/200=0.015 \text{ kN}^{-1}$ et $l/M_{pb}=6/150=0.04 \text{ kN}^{-1}$.

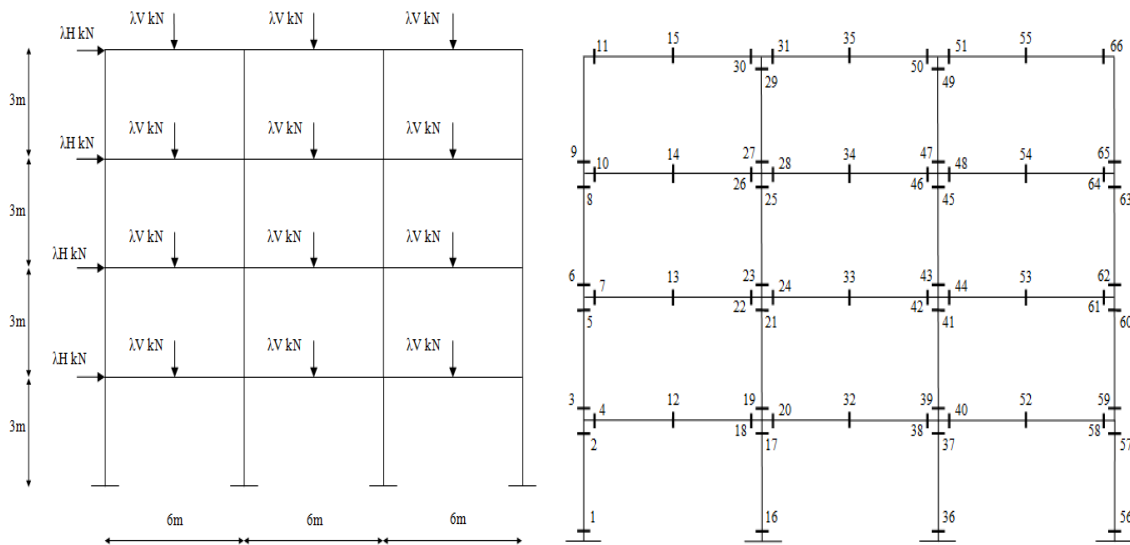
N.B : les charges latérales (horizontales) sont appliquées uniquement pour déterminer les mécanismes de ruine et les charges de ruine du portique témoin non endommagé.

$l = 6\text{m}$

$h = 3\text{m}$

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 200 \text{ kN.m}$



a) dimensions et chargement en élévation

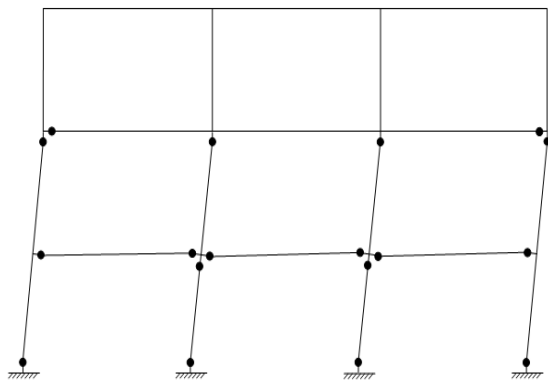
b) numérotation des sections critiques

Figure 3.19 : Présentation du P 4N 3T

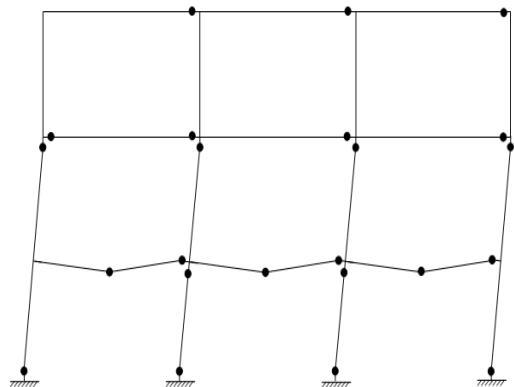
3-6-2-3- Mécanismes De Ruine:

i) - P 3N 3T :

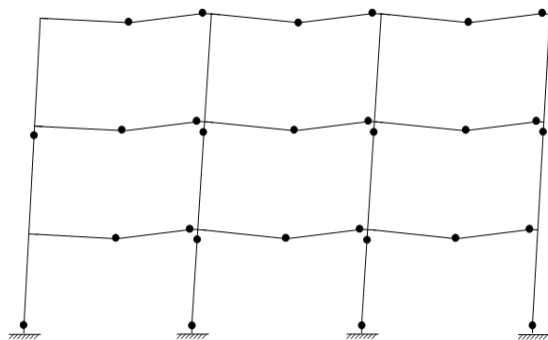
- Les mécanismes de ruine obtenus après l'analyse plastique du portique testé P 3N 3T, en utilisant la méthode « pushover » sont représentés ci-après:



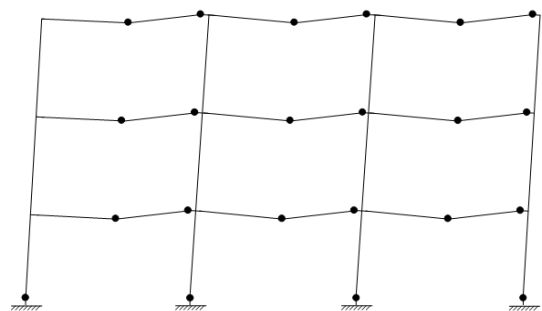
a- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.6$



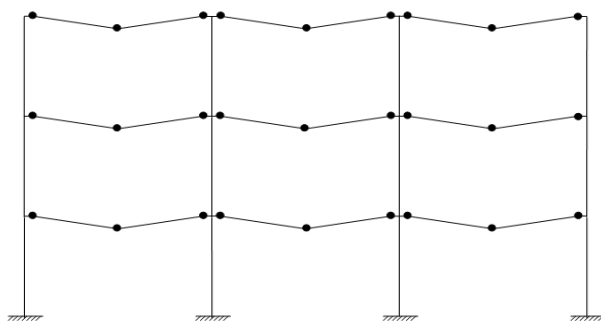
b- mécanisme de ruine pour $0.6 < \alpha < 0.93$



c- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.93$



d- mécanisme de ruine pour $0.93 < \alpha < 4.5$

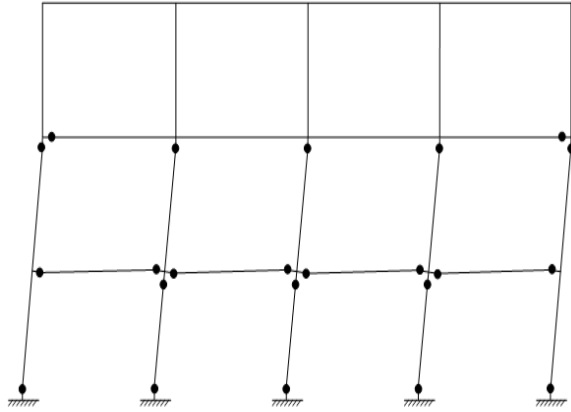


e- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.5$

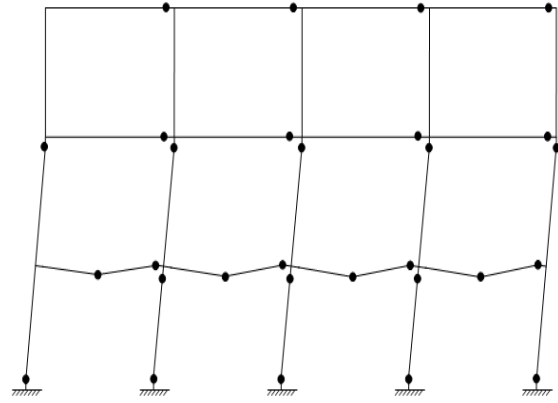
Figure 3.20 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T (portique de base).

ii) - P 3N 4T :

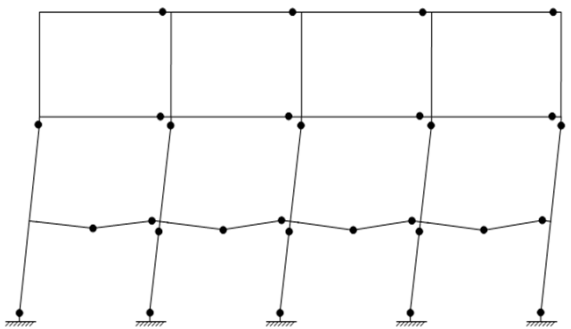
- Les mécanismes de ruine obtenus après l'analyse plastique du portique testé P 3N 4T, en utilisant la méthode « pushover » sont représentés ci-après:



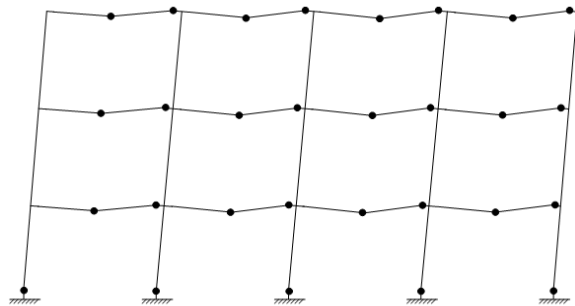
a- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.47$



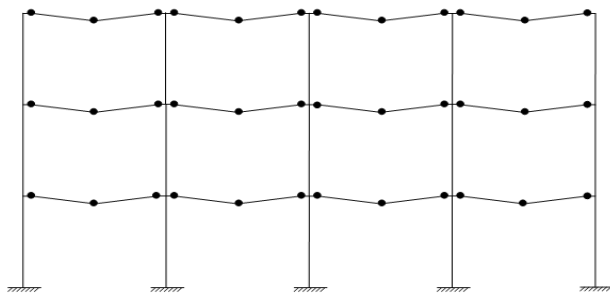
b- mécanisme de ruine pour $0.47 < \alpha < 0.73$



c- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.73$



d- mécanisme de ruine pour $0.73 < \alpha < 3.33$

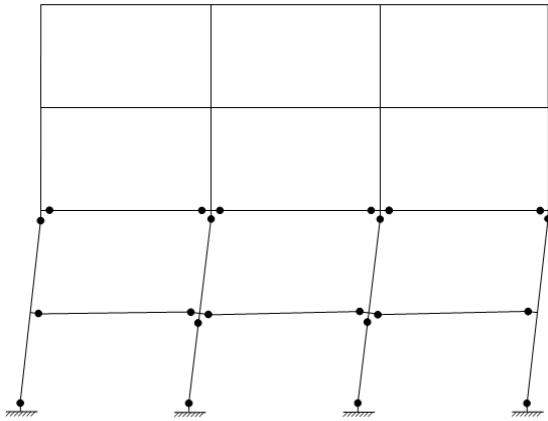


e- mécanisme de ruine pour $\alpha > 3.33$

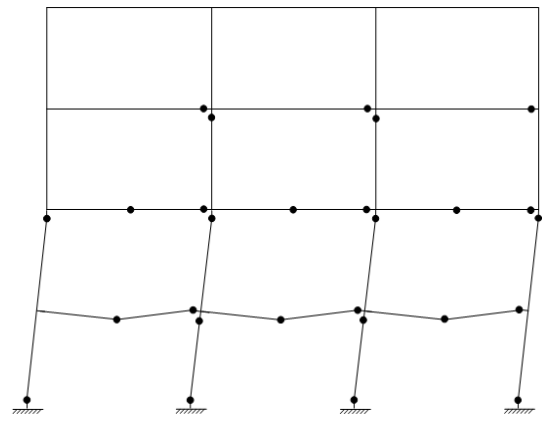
Figure 3.21 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T.

iii) - P 4N 3T :

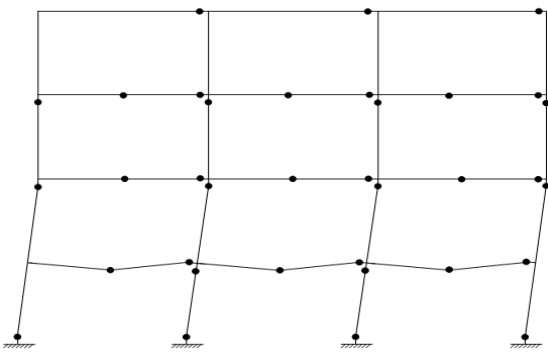
- Les mécanismes de ruine obtenus après l'analyse plastique du portique testé P 4N 3T, en utilisant la méthode « pushover » sont représentés ci-après:



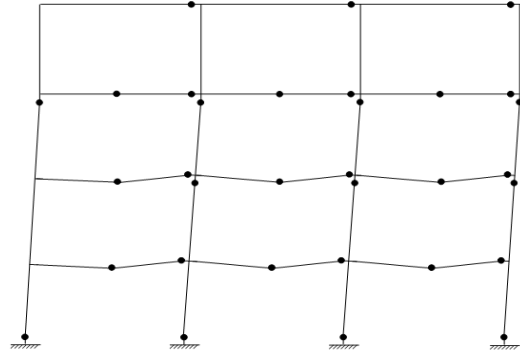
a- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.84$



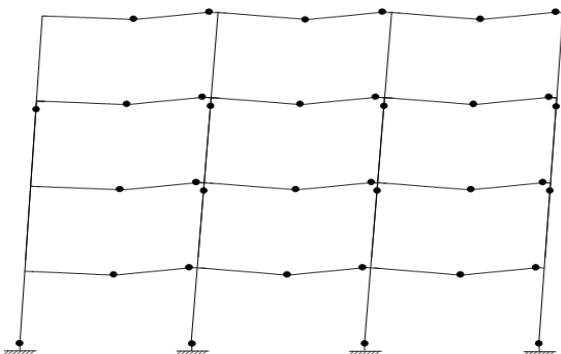
b- mécanisme de ruine pour $0.84 < \alpha < 1.2$



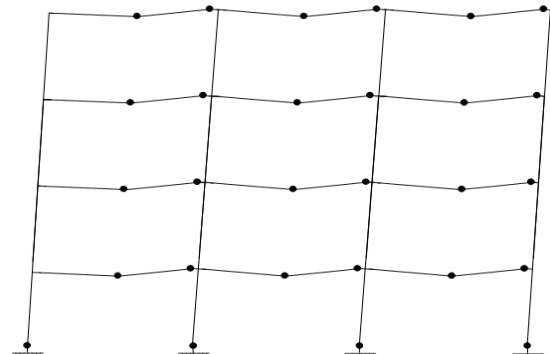
c- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.2$



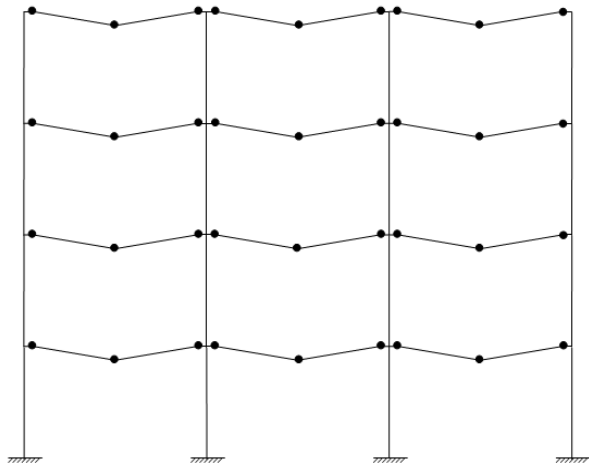
d- mécanisme de ruine pour $1.2 < \alpha < 1.39$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.39$



f- mécanisme de ruine pour $1.39 < \alpha < 7.49$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha > 7.49$

Figure 3.22 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T.

3-6-2-4- Représentation graphique :

Le développement graphique a été réalisé pour des valeurs de α et ce pour la combinaison retenue de l/M_{pb} et h/M_{pc} , les graphes sont représentés dans les figures (3-23) à (3-24) pour chacun des trois portiques.

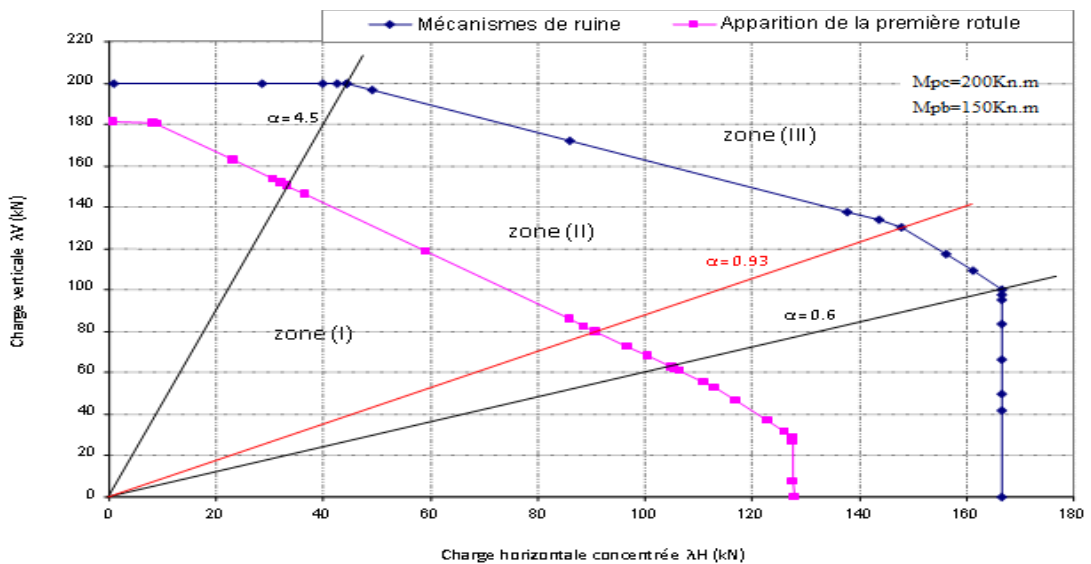


Figure 3.23 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH :

cas du P 3N 3T (portique de base).

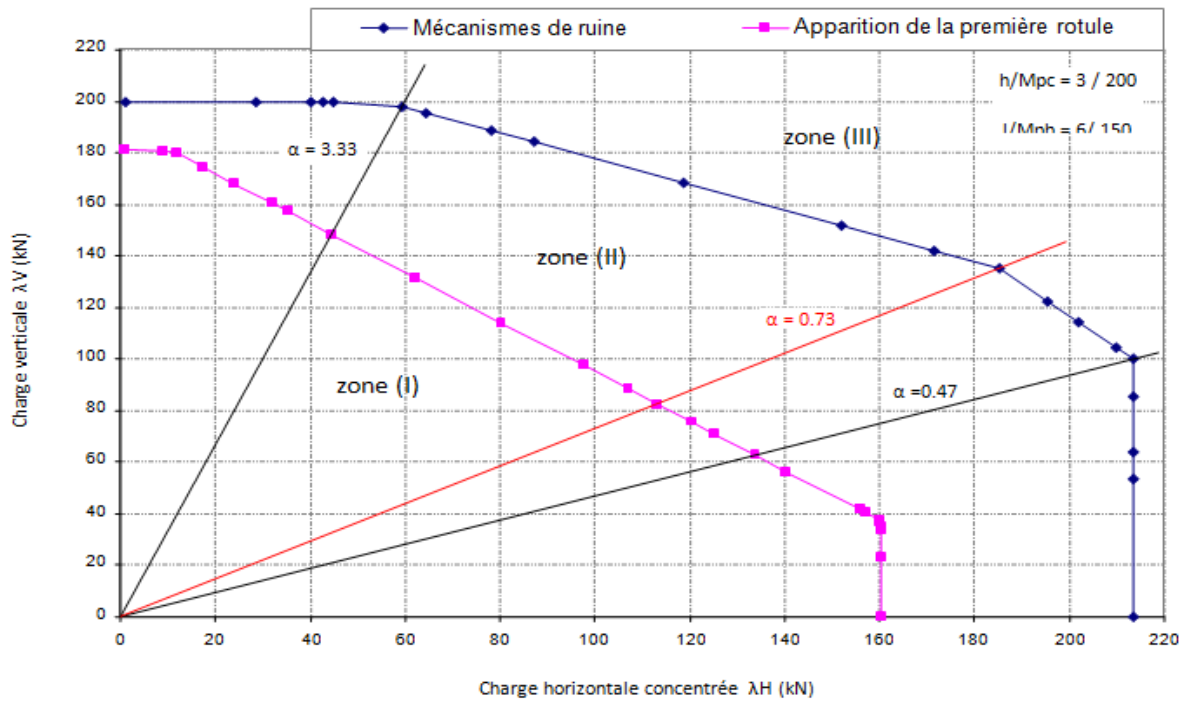


Figure 3.24 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T

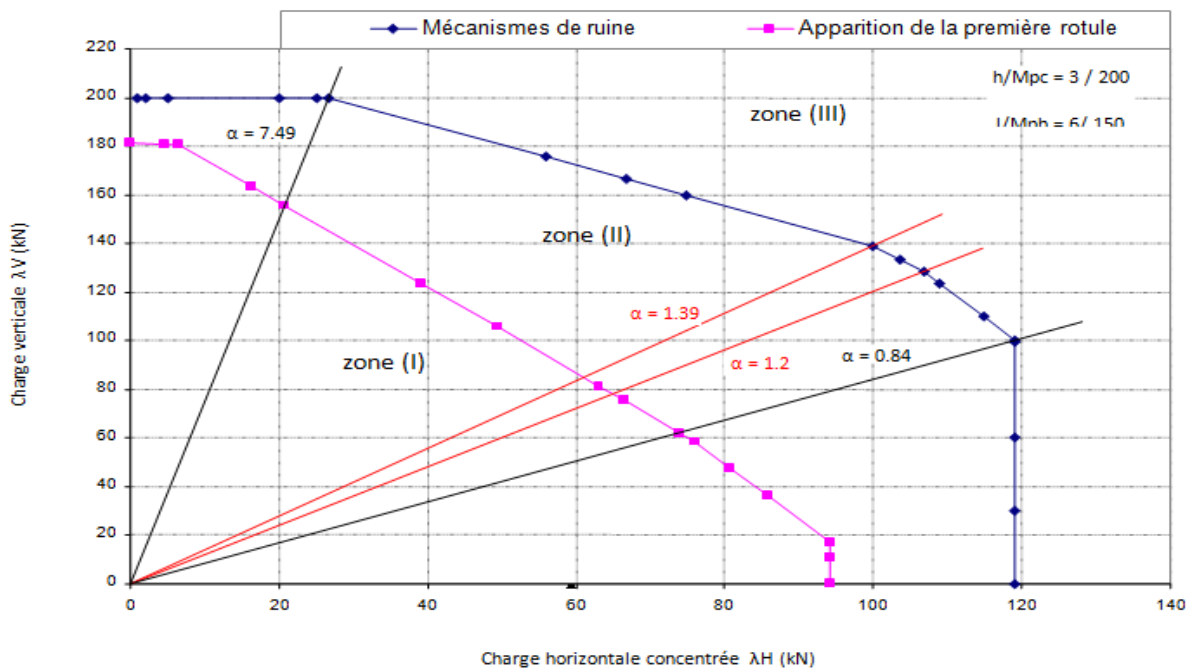


Figure 3.25 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 4N 3T

3-6-2-5- Synthèse:

Les principales conclusions auxquelles a abouti Bader [4] peuvent être synthétisées comme suit :

- La variation géométrico-mécanique des poutres et des poteaux a une influence directe sur les mécanismes de ruine et charges de ruine.
- Le rapport $\alpha = V/H$ agit directement sur les mécanismes de ruine et charges de ruine.
- L'étude a révélé trois principaux intervalles de ' α ' où les principaux changements sont constatés, l'étendue de ces intervalles est directement influencée par la forme en élévation du portique (effet du rajout d'un niveau ou d'une travée).
- La variation de l et h sans rapport avec les valeurs respectives des M_{pb} et M_{pc} n'a aucun sens.
- La construction des diagrammes d'interaction pour les portiques (**P 3N 3T**, **P 3N 4T** et **P 4N 3T**) est possible.
- La principale conclusion, elle concerne la forme de la partie inclinée des diagrammes d'interaction c'est-à-dire celle qui concerne les « combined mechanisms » cette partie a révélé la présence de trois valeurs tampons pour les portiques **P 3N 3T** et **P 3N 4T** et quatre valeurs tampons pour le portique **P 4N 3T**.

Chapitre 4

DETERMINATION DES MECANISMES DE RUINE POUR DES STRUCTURES EN PORTIQUES EN BETON ORDINAIRE ARME ET EN BETON DE SABLE ARME

4- DETERMINATION DES MECANISME DE RUINE POUR DES STRUCTURES EN PORTIQUES EN BETON ORDINAIRE ARME ET EN BETON DE SABLE ARME:

4-1-Introduction:

Quand la structure devient multi-étagée multi-travée son utilisant pour la détermination de devient quasiment impossible (plus d'inconnus géométriques que de relations des moments inconnus).

La méthode utilisant les concepts des travaux virtuels devient laborieuse quand la structure dépasse un niveau et une travée. Les équations deviennent très lourdes à reprendre. Les méthodes pouvant contourner les difficultés dont l'analyse limite, la méthode « pas à pas » et la méthode « pushover » dont l'utilisation nécessite une connaissance en informatique et une exploitation judicieuse du logiciel existant SAP 2000.

4-2 -Raisons du choix de la méthode retenue pour l'étude:

Il est constaté que la détermination du mécanisme et de la charge de ruine des éléments de structures ou structures simples par les différentes méthodes de l'analyse plastique, a conduit aux mêmes résultats, mais il faut dire qu'en dehors des cas de structures simples, et chaque fois que le degré d'hyperstaticité augmente, la détermination des vraies charges de ruine par la méthode cinématique devient laborieuse car elle exige une série de combinaisons entre les différents mécanismes élémentaires en incluant le mécanisme de joint « joint rotation mechanism » afin de minimiser la valeur du facteur de charge, λ . Cette méthode peut être très longue sans garantie d'obtention du vrai mécanisme de ruine.

La méthode « pas à pas » a ses limites car une partie du travail devrait se faire manuellement alors que la méthode non linéaire dite « pushover » peut être salutaire et peut faire éviter le risque d'erreurs et la lourdeur de la première ainsi que la deuxième. Elle est facile d'utilisation grâce à la disponibilité de logiciels entre autre le SAP2000. Pour cela, la méthode non linéaire « pushover » a été retenue pour le reste du travail car elle permettra et facilitera l'analyse d'une multitude de portiques avec un ensemble de paramètres différents.

4-3- Caractéristiques mécaniques et géométriques des trois Portiques retenus:

4-3-1- Caractéristiques Du Portique de 3Niveaux et 3Travée (portique de base):

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du **P 3N 3T** (portique de base) et les points d'application des charges concentrées verticales et horizontales, λV , et horizontales, λH , sont représentés sur la figure (4-1-a) :

$$l = 6\text{m}$$

$$h = 3\text{m}$$

$$r = 3.k - j$$

r : degré d'hyperstaticité

k : nombre de barres

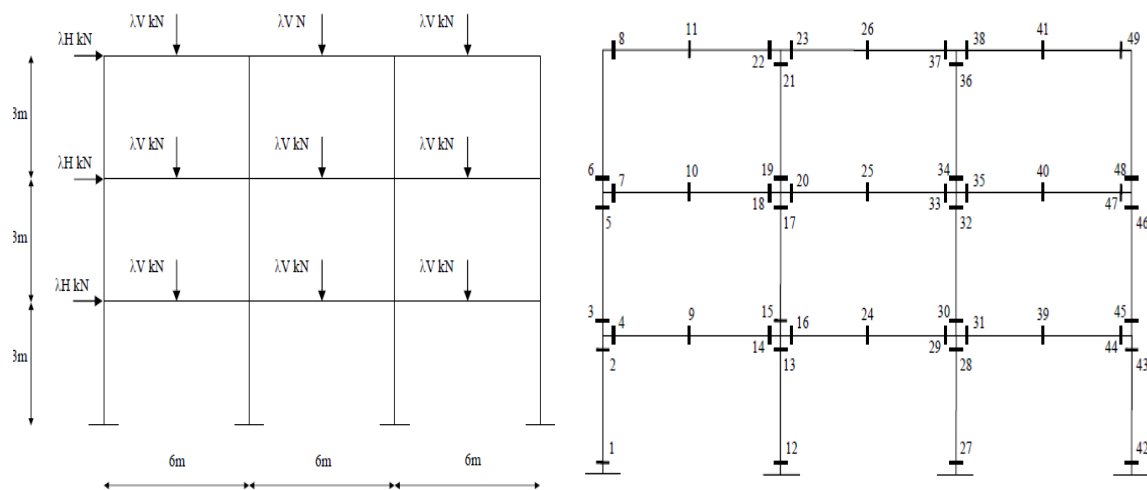
j : nombre de rotules mécaniques

$$r = 3 \times 9 - 0 = 27$$

Les sections critiques sont représentées dans la figure (4-1-b) et sont numérotées de 1 à 49.

Le nombre de rotules nécessaires pour avoir un mécanisme de ruine $n = r + 1 = 28$

Le portique en question comprend quatre encastremets, dix joints (rencontre de plus de deux éléments), et deux nœuds (rencontre de deux éléments).



a) dimensions et chargement en élévation

b) numérotation des sections critiques

Figure 4.1 : Présentation du P 3N 3T (portique de base)

4-3-2- Caractéristiques Du Portique de 3Niveaux et 4Travée :

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du **P 3N 4T** et les points d'application des charges concentrées verticales et horizontales, λV , et horizontales, λH , sont représentés sur la figure (4-2-a) :

$$l = 6m$$

$$h = 3m$$

$$r = 3.k - j$$

r : degré d'hyperstaticité

k : nombre de barres

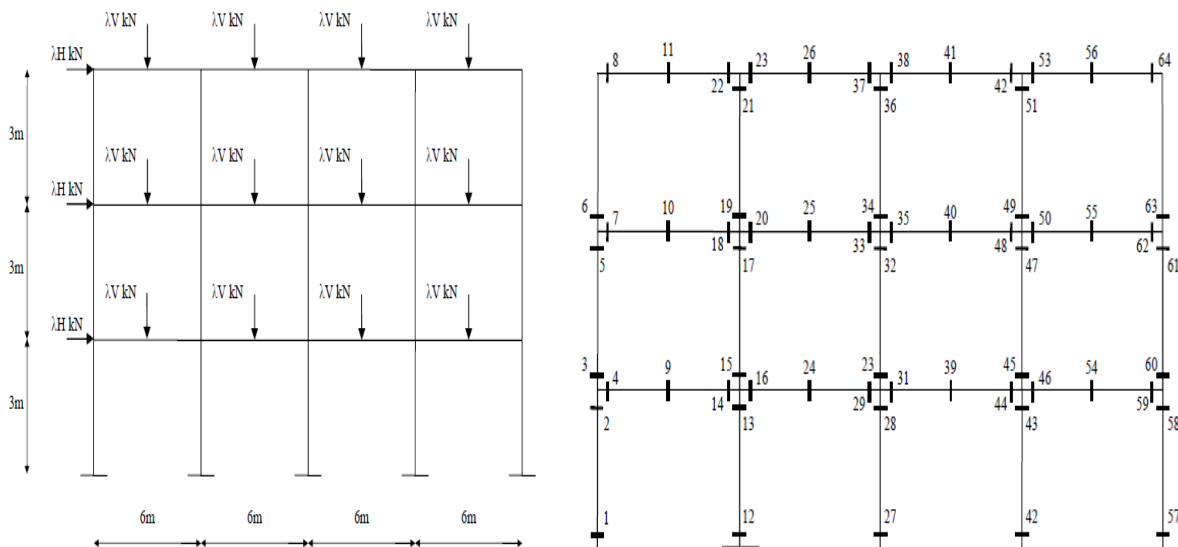
j : nombre de rotules mécaniques

$$r = 3 \times 12 - 0 = 36$$

Les sections critiques sont représentées dans la figure (4-2-b) et sont numérotées de 1 à 64.

Le nombre de rotules nécessaires pour avoir un mécanisme de ruine $n = r + 1 = 37$.

Le portique en question comprend quatre encastremets, dix joints (rencontre de plus de deux éléments), et deux nœuds (rencontre de deux éléments).



a) dimensions et chargement en élévation

b) numérotation des sections critiques

Figure 4.2 : Présentation du P 3N 4T

4-3-3- Caractéristiques Du Portique de 4Niveaux et 3Travée :

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du **P 4N 3T** et les points d'application des charges concentrées verticales et horizontales, λV , et horizontales, λH , sont représentés sur la figure (4-3-a) :

N.B : les charges latérales (horizontales) sont appliquées uniquement pour déterminer les mécanismes de ruine et les charges de ruine du portique témoin non endommagé.

$$l = 6m$$

$$h = 3m$$

$$r = 3.k - j$$

r : degré d'hyperstaticité

k : nombre de barres

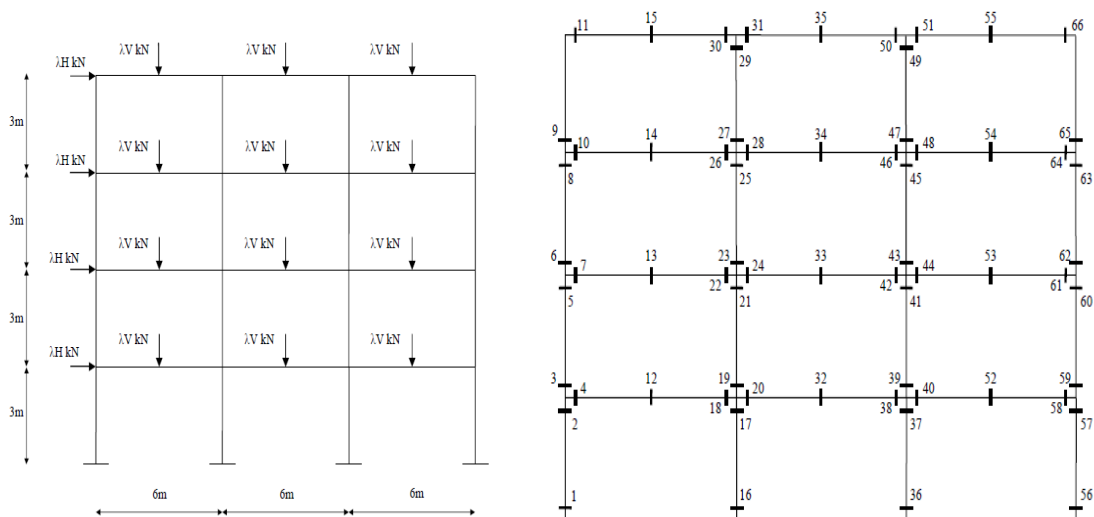
j : nombre de rotules mécaniques

$$r = 3 \times 12 - 0 = 36$$

Les sections critiques sont représentées dans la figure (4-3-b) et sont numérotées de 1 à 66.

Le nombre de rotules nécessaires pour avoir un mécanisme de ruine $n = r + 1 = 37$.

Le portique en question comprend quatre encastremets, dix joints (rencontre de plus de deux éléments), et deux nœuds (rencontre de deux éléments).



a) dimensions et chargement en élévation

b) numérotation des sections critiques

Figure 4.3 : Présentation du P 4N 3T

4-4- Mécanismes de ruine pour les trois portiques témoins:

4-4-1- Introduction:

La présente étude a pour objet de déterminer les mécanismes de ruine des trois portiques témoins soumis à une combinaison de charges concentrées verticales et horizontales linéairement dépendantes, λV et λH avec $\alpha = V/H$.

Il a été jugé nécessaire et pratique de ne représenter les portiques avec les différentes rotules plastiques qu'à chaque changement de l'ordre d'apparition de ces dernières et ce pour les valeurs ou les intervalles appropriés de α .

4-4-2- Mécanismes De Ruine des trois Portiques Témoins:

4-4-2-1-Portique P 3N 3T :

4-4-2-1-1- Présentation Des Mécanismes:

Les mécanismes de ruine obtenus sont représentés sur les figures (4-4) à (4-13) avec l'emplacement des rotules plastiques sur le portique témoin **P 3N 3T** (portique de base).

i)- 1^{er} cas : $A_s = A_{s \min}$

poteau $A_{s \min} = 0,8 \%$

poutre $A_{s \min} = 0,5 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

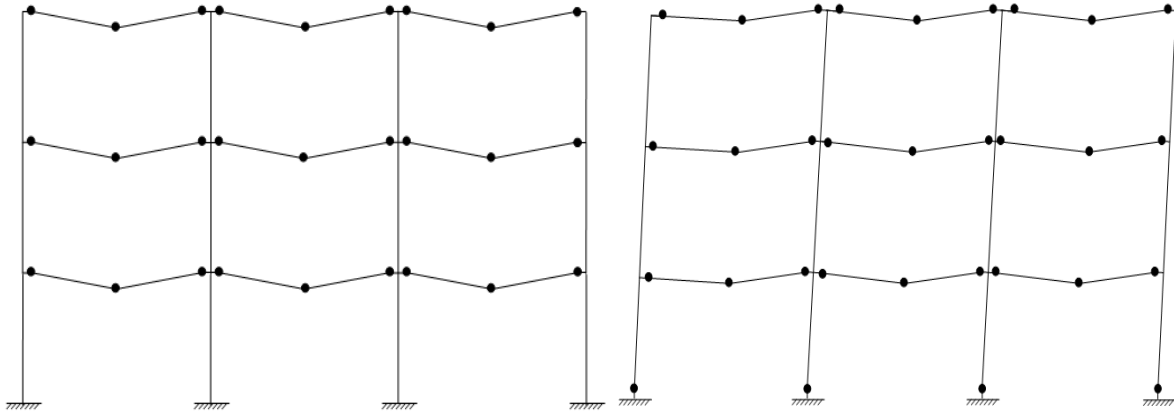
$k_2 = 0.416$

$\varepsilon_{cu} = 3500$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

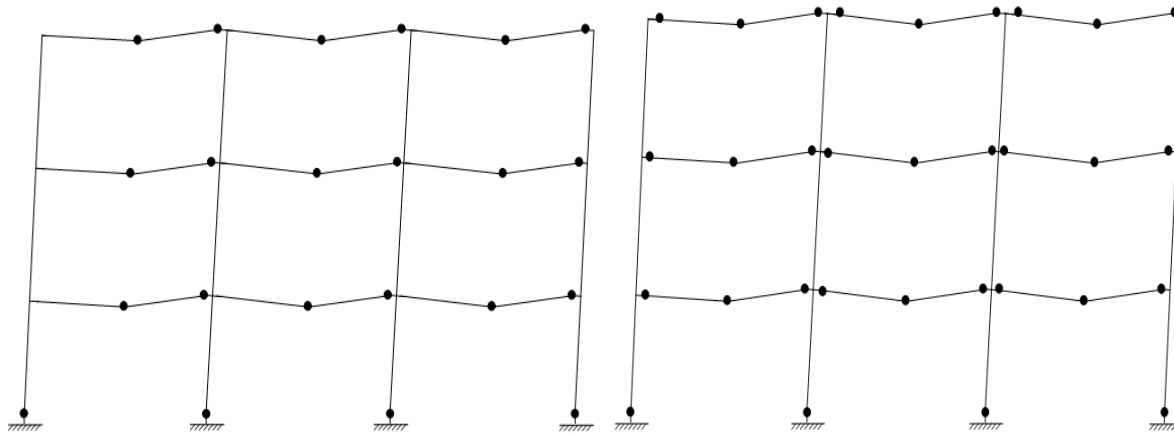
$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 234 \text{ kN.m}$



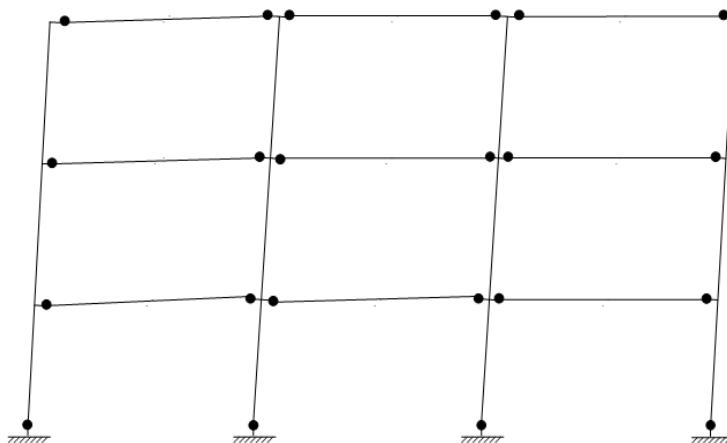
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.078$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.078$



c- mécanisme de ruine pour $0.298 < \alpha < 1.078$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha=0.298$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.298$

Figure 4.4 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de A_s min.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

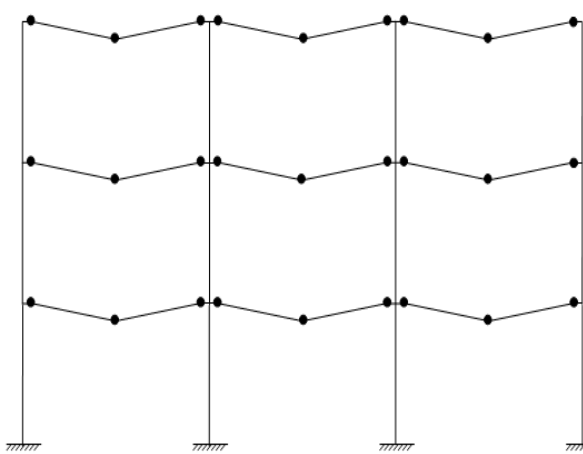
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

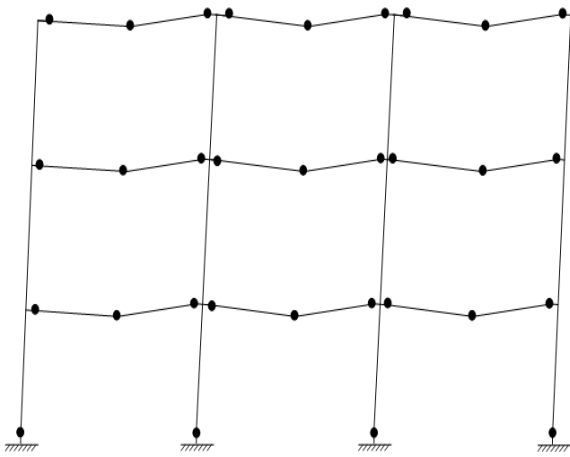
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

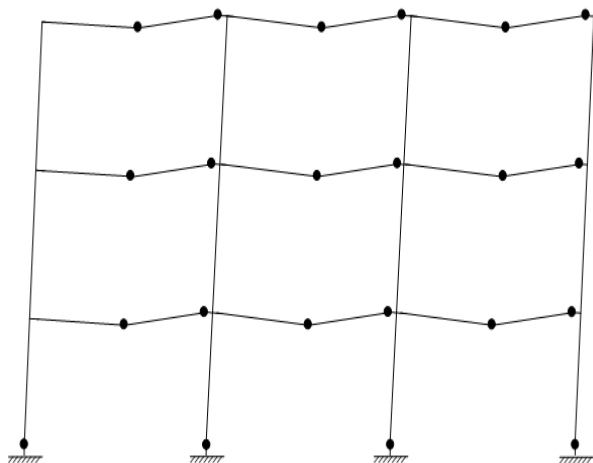
$M_{pc} = 247 \text{ kN.m}$



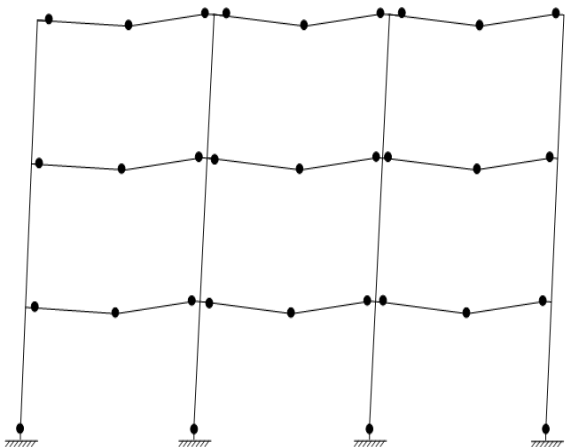
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.020$



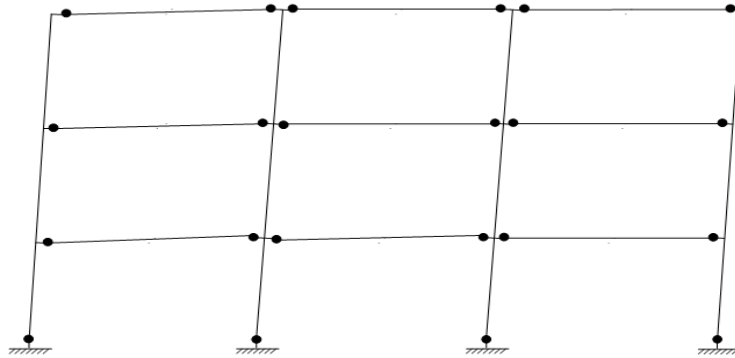
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.020$



c- mécanisme de ruine pour $0.289 < \alpha < 1.020$



d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.289$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.289$

Figure 4.5 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de A_s min.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha > 1.078$ en BOA , et de $\alpha > 1.020$ en BDSA, les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est un « top, second and lower beam mechanism», ces mécanismes de poutre ont lieu suite à la formation de vingt sept rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4-4-a) et(4-5-a).
- Pour les valeurs de $\alpha = 1.078$ et $\alpha = 0.298$ en BOA , et de $\alpha = 1.020$ et $\alpha = 0.289$ en BDSA donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière(figure 4-4-b),(figure 4-4-d)et(figure 4-5-b)et(figure 4-5-d).
- Pour l'intervalle de $0.298 < \alpha < 1.078$ en BOA, et de $0.289 < \alpha < 1.020$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt deux, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined

mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-4-c)et (figure4-5-c).

- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.298$ en BOA , et de $\alpha \leq 0.289$ en BDSA le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la vint deux rotule et est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-4-e)et(figure 4-5-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 1.078$ en BOA ,et de $\alpha > 1.020$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.298 < \alpha \leq 1.078$ en BOA , et $0.289 < \alpha \leq 1.020$ en BDSA ; Les valeurs de $\alpha = 1.078$ en BOA ,et de $\alpha = 1.020$ en BDSA deux valeurs frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeurs de $\alpha = 1.078$ et $\alpha = 0.298$ en BOA , et de $\alpha = 1.020$ et $\alpha = 0.289$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-un rotule .
- pour des faibles valeurs de α , $\alpha < 0.298$ BOA ,et de $\alpha < 0.289$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total sway mechanisms » sont observés.

ii)- 2^{ème} cas : $A_s = 1 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$$k_1 = 0.459$$

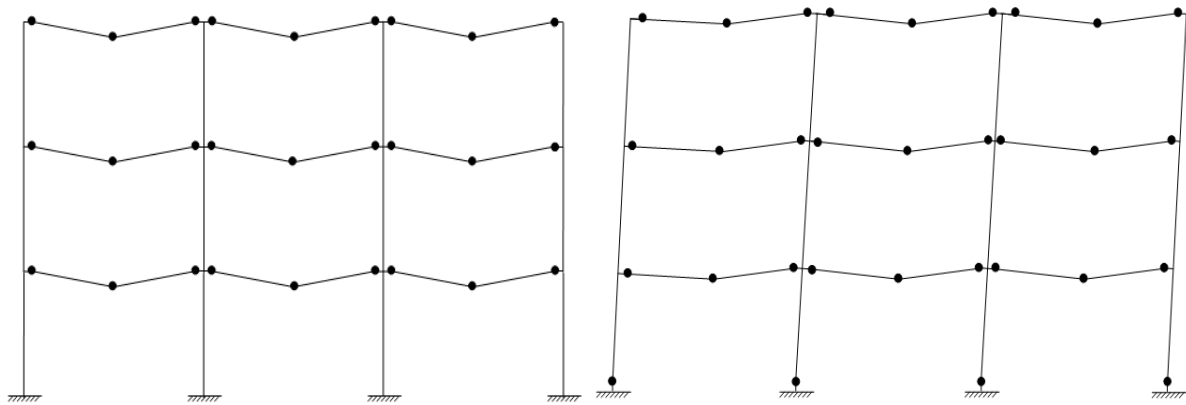
$$k_2 = 0.416$$

$$\varepsilon_{cu} = 3500$$

$$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$$

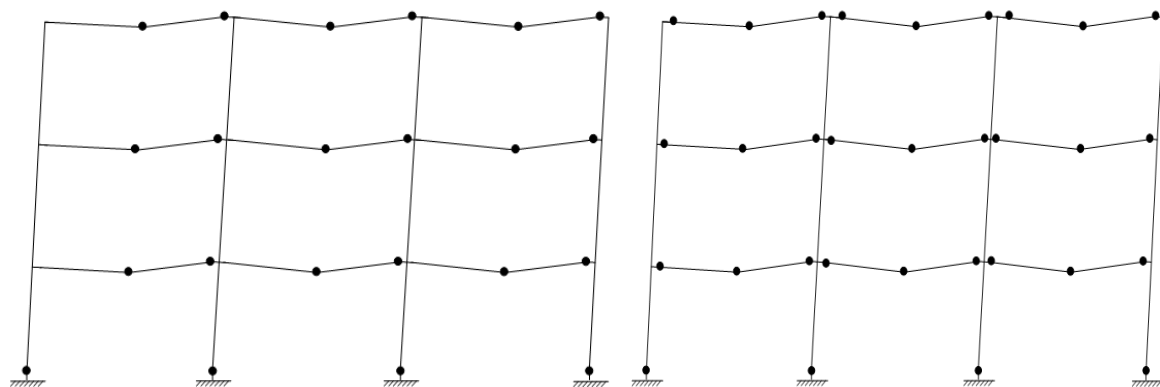
$$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$$

$$M_{pc} = 240 \text{ kN.m}$$



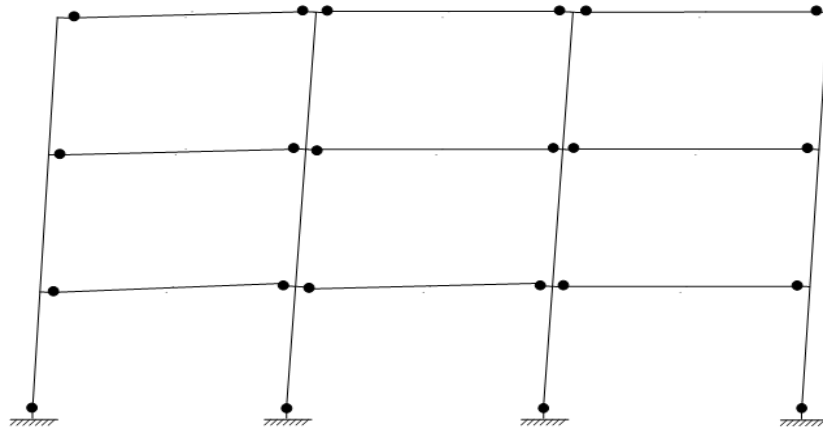
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.950$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.950$



c- mécanisme de ruine pour $0.396 < \alpha < 1.950$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.396$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.396$

Figure 4.6 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 1%.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

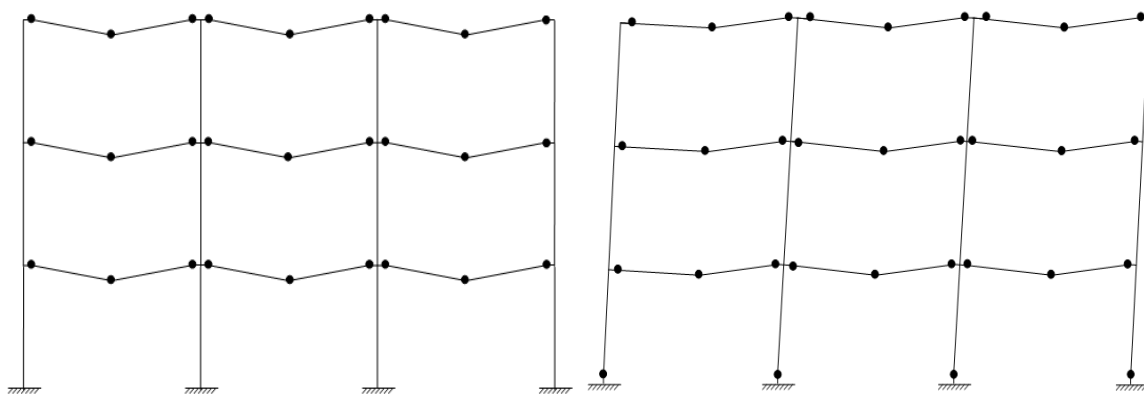
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

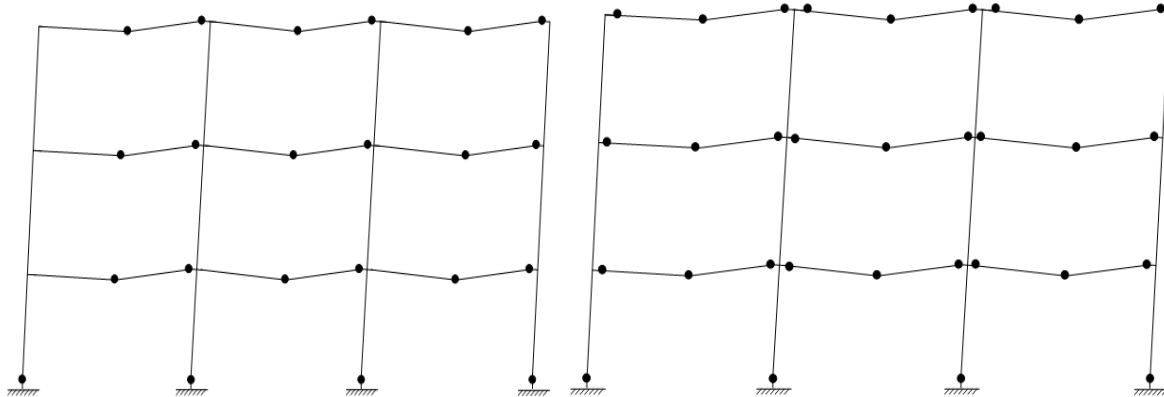
$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 254 \text{ kN.m}$



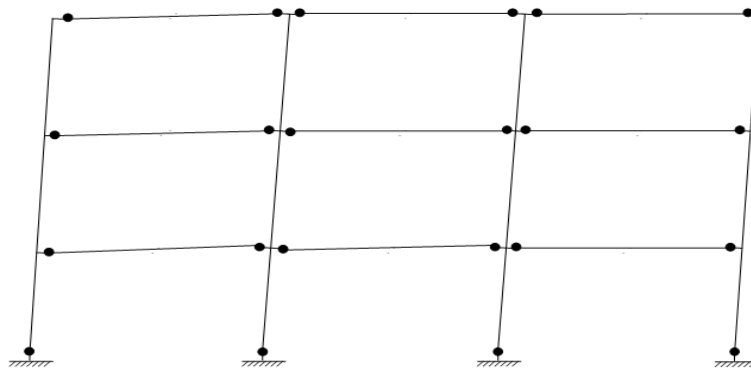
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.866$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.866$



c- mécanisme de ruine pour $0.389 < \alpha < 1.866$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.389$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha < 0.389$

Figure 4.7 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1%.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha > 1.950$ en BOA ,et de $\alpha > 1.866$ en BDSA, les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est un « top, second and lower beam mechanism», ces mécanismes de poutre ont lieu suite à la formation de vingt sept rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4-6-a) et (4-7-a).

- Pour les valeurs de $\alpha = 1.950$ et $\alpha = 0.396$ en BOA, et de $\alpha = 1.866$ et $\alpha = 0.389$ en BDSA donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure4-6-b), (figure4-6-d) et (figure4-7-b) et (figure4-7-d).
- Pour l'intervalle de $0.396 < \alpha < 1.950$ en BOA, et $0.389 < \alpha < 1.866$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt deux, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-6-c), (figure4-7-c).
- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.396$ en BOA, et de $\alpha \leq 0.389$ en BDSA le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la vingt deux rotule et est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-6-e), (figure 4-7-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 1.950$ en BOA, et de $\alpha > 1.866$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les « beam mechanisms » au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.396 < \alpha \leq 1.950$ en BOA, et pour $0.389 < \alpha \leq 1.866$ en BDSA ; La valeur de $\alpha = 1.866$ est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeurs de $\alpha = 1.950$ et $\alpha = 0.396$ en BOA, et de $\alpha = 1.866$ et $\alpha = 0.389$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon »

et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-un rotule .

- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.396$ en BOA, et de $\alpha < 0.389$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total sway mechanisms » sont observés.

iii) - 3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

a)-**Béton ordinaire armée :**

$$k_1 = 0.459$$

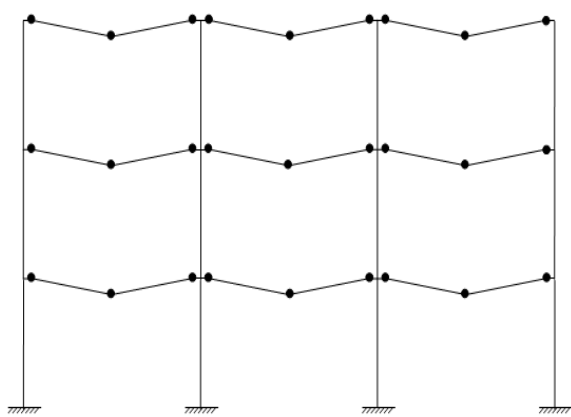
$$k_2 = 0.416$$

$$\varepsilon_{cu} = 3500$$

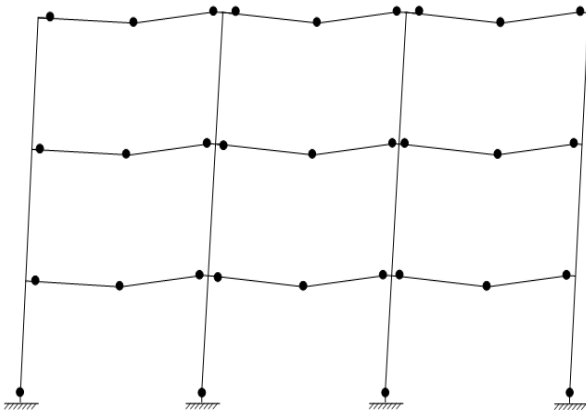
$$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$$

$$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$$

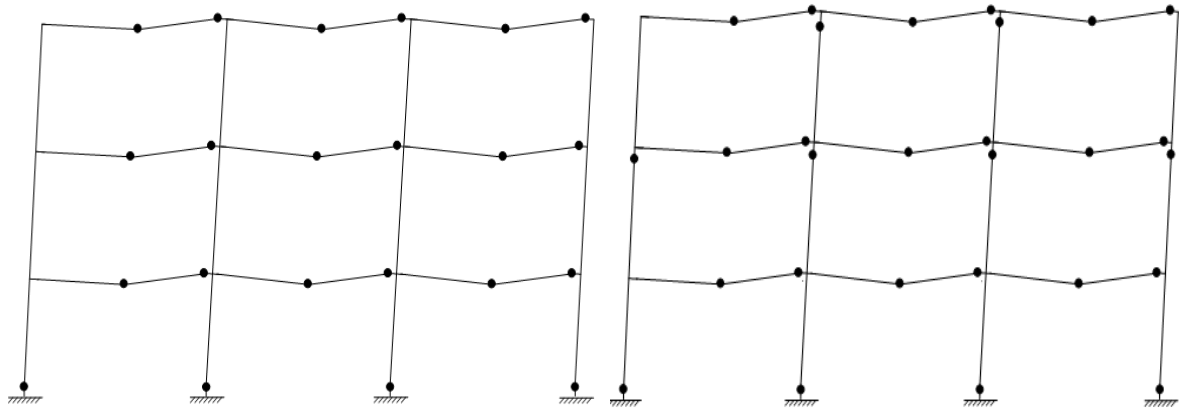
$$M_{pc} = 274 \text{ kN.m}$$



a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 3.285$

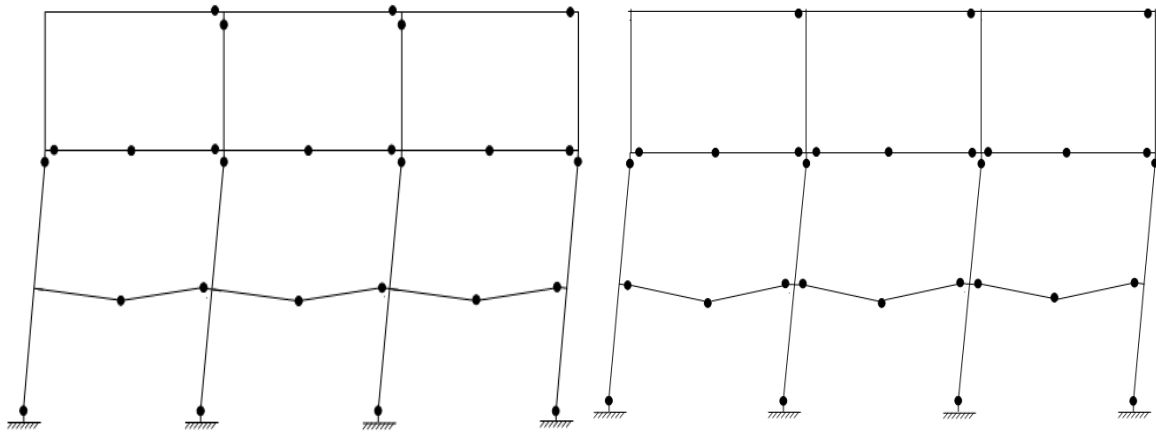


b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 3.285$



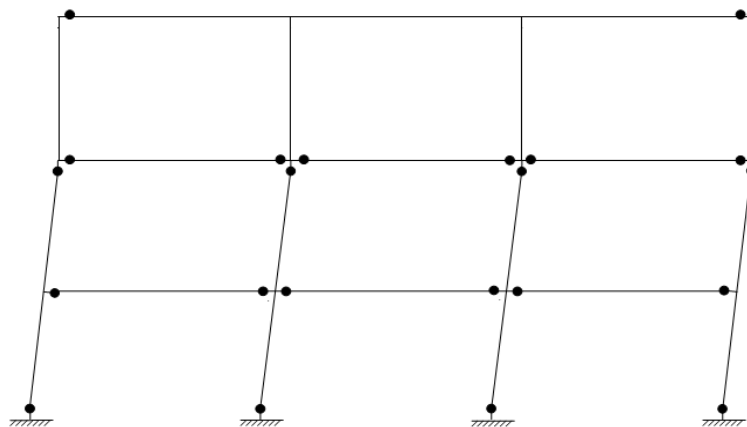
c- mécanisme de ruine pour $0.549 < \alpha < 3.285$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.549$



e- mécanisme de ruine pour $0.485 \leq \alpha \leq 0.549$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.485$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.485$

Figure 4.8 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 2 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

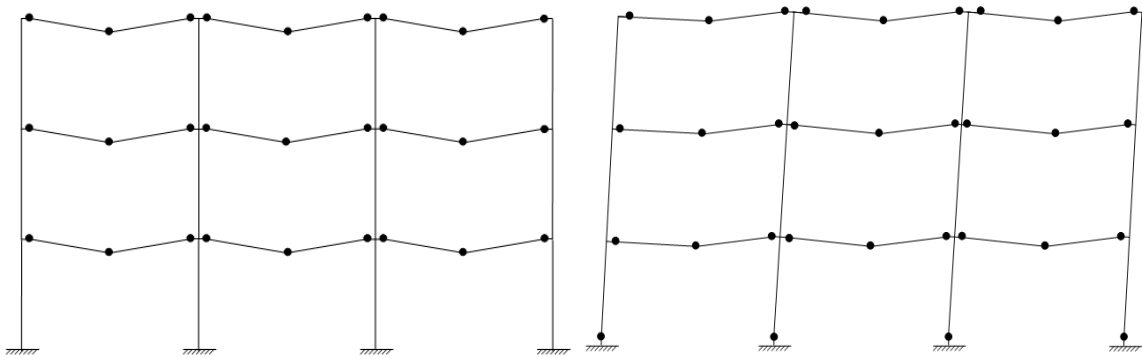
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

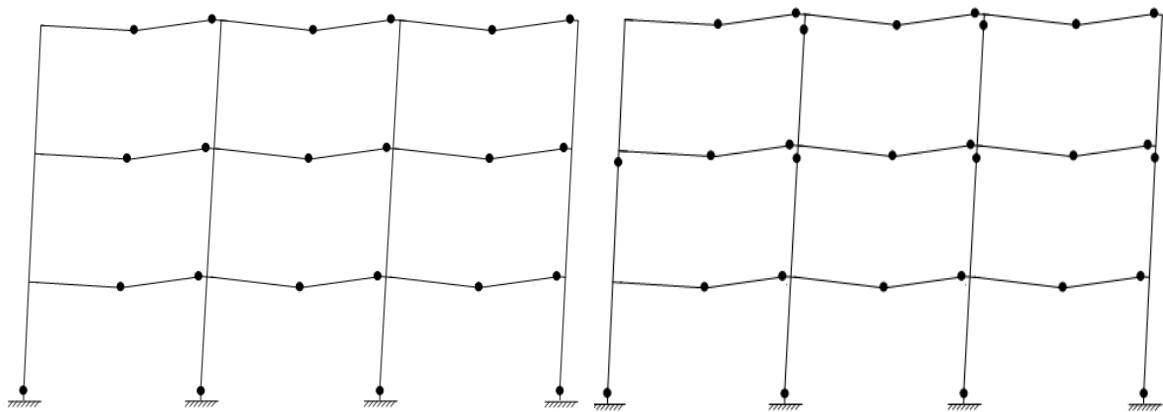
$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 290 \text{ kN.m}$



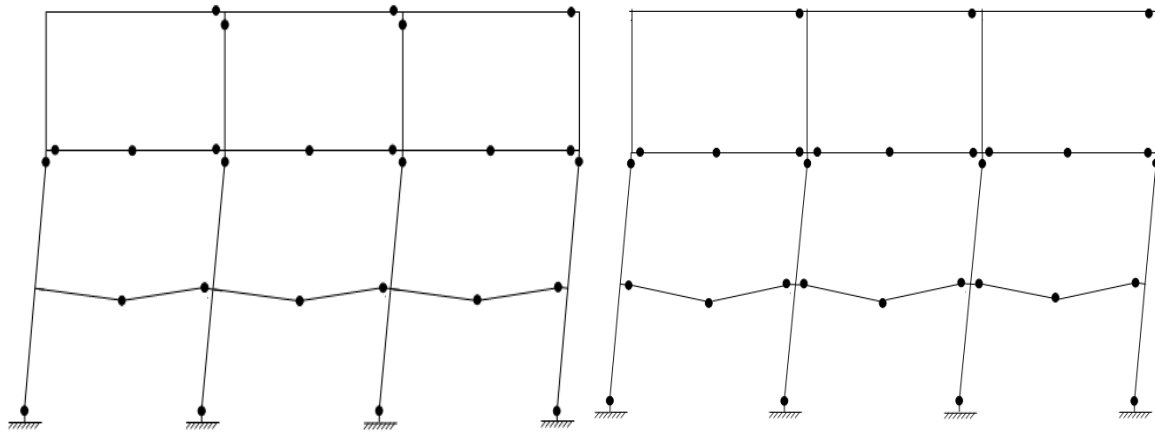
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 3.124$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 3.124$



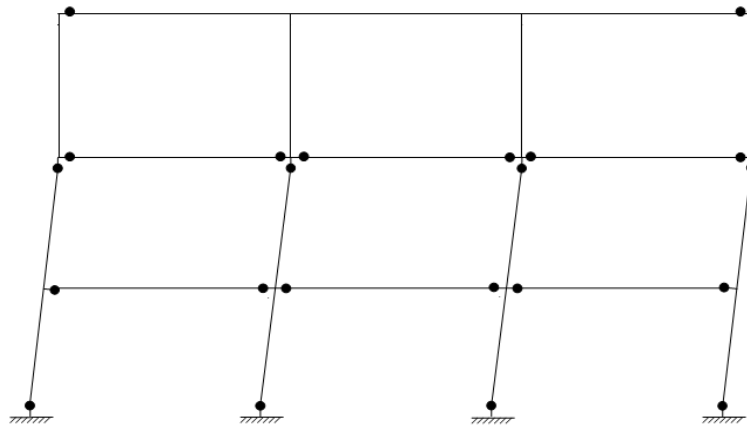
c- mécanisme de ruine pour $0.496 < \alpha < 3.124$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.496$



e- mécanisme de ruine pour $0.470 \leq \alpha \leq 0.496$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.470$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.470$

Figure 4.9 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 2 %.

-- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha > 3.285$ en BOA , et de $\alpha > 3.124$ en BDSA , les valeurs des charges concentrées verticales, V, sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H, les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est un « top, second and lower beam mechanism», ces mécanismes de poutre ont lieu suite à la formation de vingt sept rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4.8.a) et (4.9.a)

- Pour l'intervalle de $0.549 < \alpha < 3.285$ en BOA , et de $0.496 < \alpha < 3.124$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt deux, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure 4.8.c) et (figure 4.9.c).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 28$. Ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Pour les cas de $\alpha = 0.549$ en BOA , et de $\alpha = 0.496$ en BDSA la vingt huitième rotule développée, pour ce cas, donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total second storey sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure 4-8-d) et (figure 4-9-d).
- Pour l'intervalle $0.485 \leq \alpha \leq 0.549$ en BOA , et de $0.470 \leq \alpha \leq 0.496$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se forme mais avec seize rotules plastiques. Pour toute valeur de α comprise entre 0.485 et 0.549 en BOA , et de 0.470 et 0.496 en BDSA ; l'ordre de formation de rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les rotules plastiques formées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage pourront être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les sept rotules plastiques considérées comme bloquées sont développées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage (figure 4-8-e) et (figure 4-9-e).

- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.485$ en BOA, et de $\alpha \leq 0.470$ en BDSA le mécanisme est un « total first and second storey sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-8-g) et (figure 4-8-g).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 3.285$ en BOA , et de $\alpha > 3.124$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.549 < \alpha \leq 3.285$ en BOA , et de $0.496 < \alpha \leq 3.124$ en BDSA ; Les valeurs de $\alpha = 3.285$ en BOA , et de $\alpha = 3.124$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism» et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeur de $\alpha = 0.549$ en BOA, et de $\alpha = 0.496$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées vingt huit rotule, les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total combined mechanism » et l'autre participe à la formation du « total second storey sway mechanism » donc le mécanisme de ruine formé est une combinaison entre les deux mécanisme « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total combined mechanism ».
- Une combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » a lieu pour $0.485 \leq \alpha < 0.549$ en BOA , et de $0.470 \leq \alpha < 0.496$ en BDSA; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive qui a produit «left hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage. Les valeurs de $\alpha = 0.485$ en BOA , et de $\alpha = 0.470$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine «second storey sway

mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » avec le « second storey sway mechanism ».

- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.485$ en BOA , et de $\alpha < 0.470$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total first and second story sway mechanisms » sont observés. Ce mécanisme ne peut être se déformé qu'avec deux autre «joint rotation mechanism» au niveau de premier étage et «left and right hand joint rotation mechanism» au niveau de deuxième étage.

iv)- 4^{ème} cas : $A_s = 3\%$

a)-Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

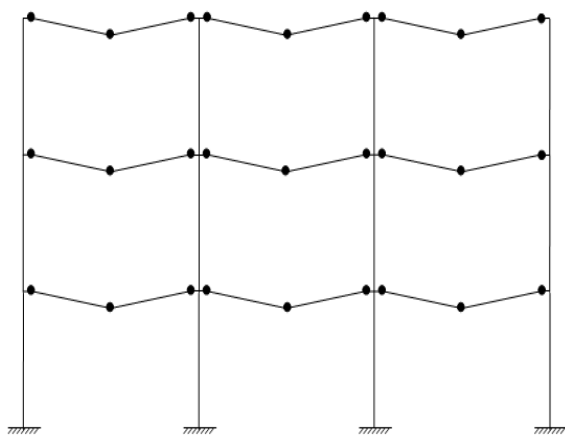
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

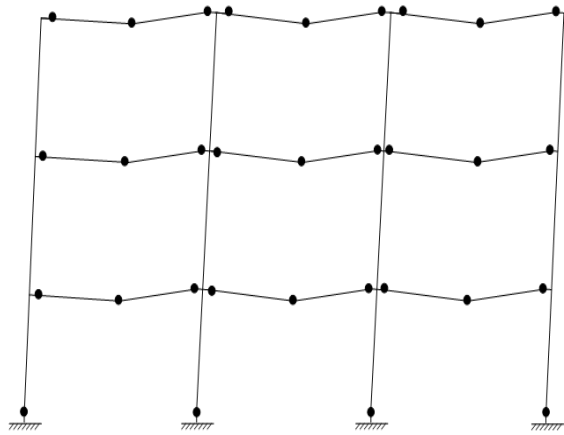
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$

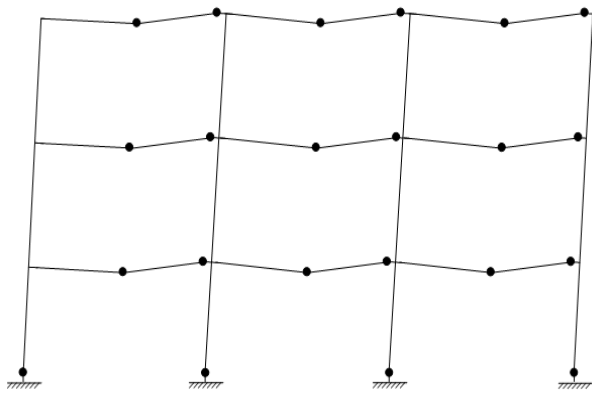
$M_{pc} = 309 \text{ kN.m}$



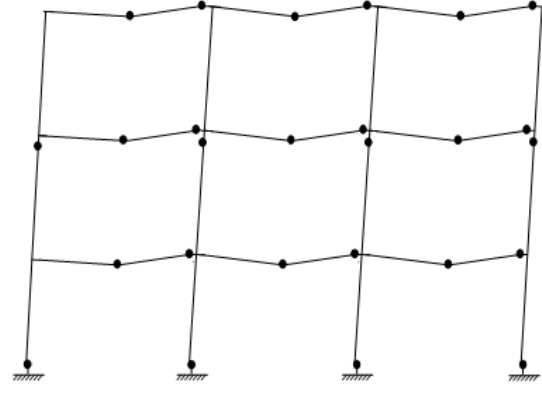
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.310$



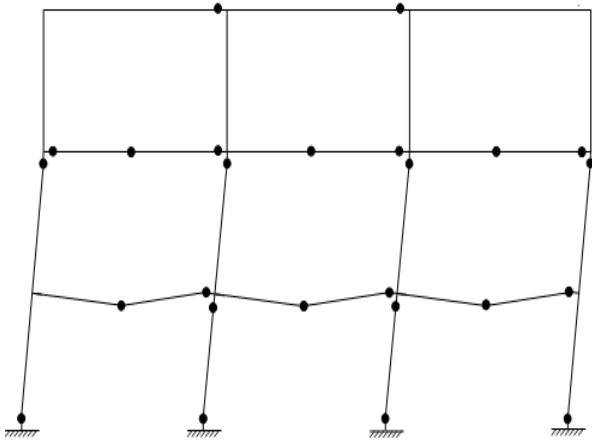
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 4.310$



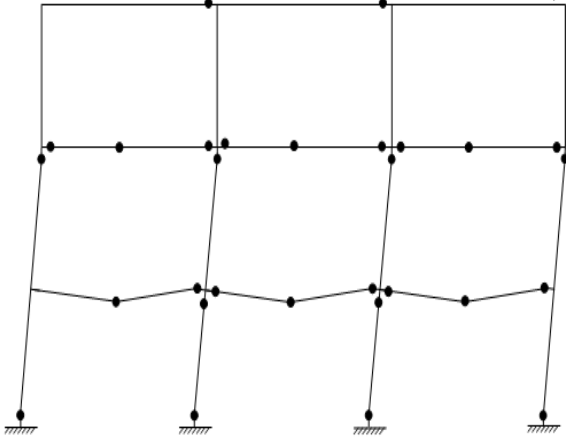
c- mécanisme de ruine pour $0.866 < \alpha < 4.310$



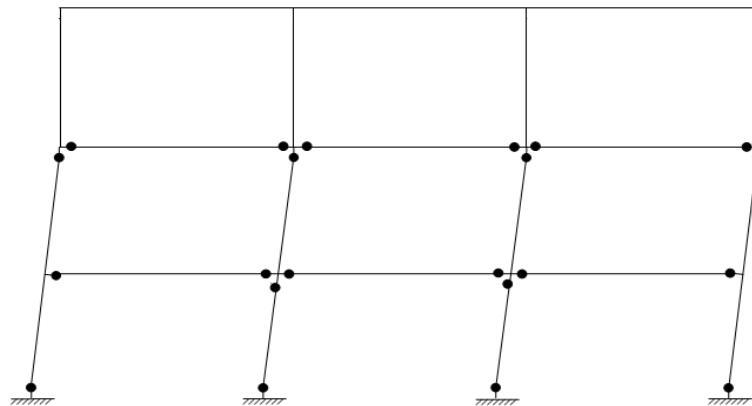
d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.866$



e- mécanisme de ruine pour $0.584 \leq \alpha \leq 0.866$



f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.584$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.584$

Figure 4.10 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 3 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

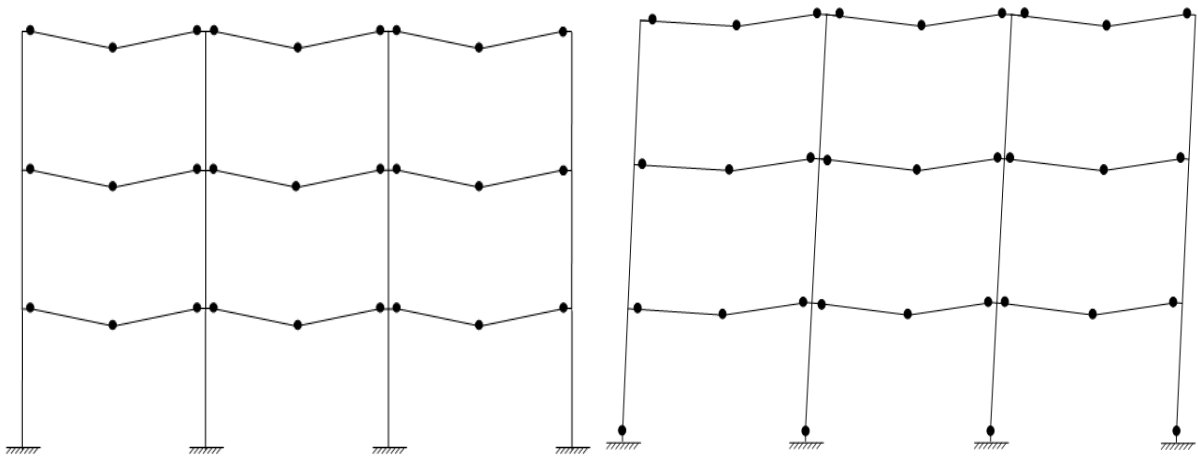
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

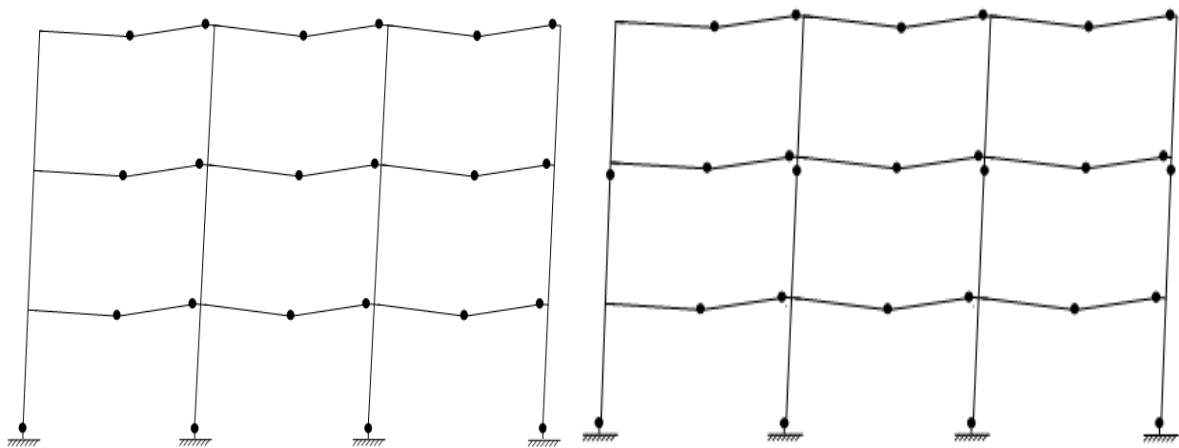
$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 326 \text{ kN.m}$



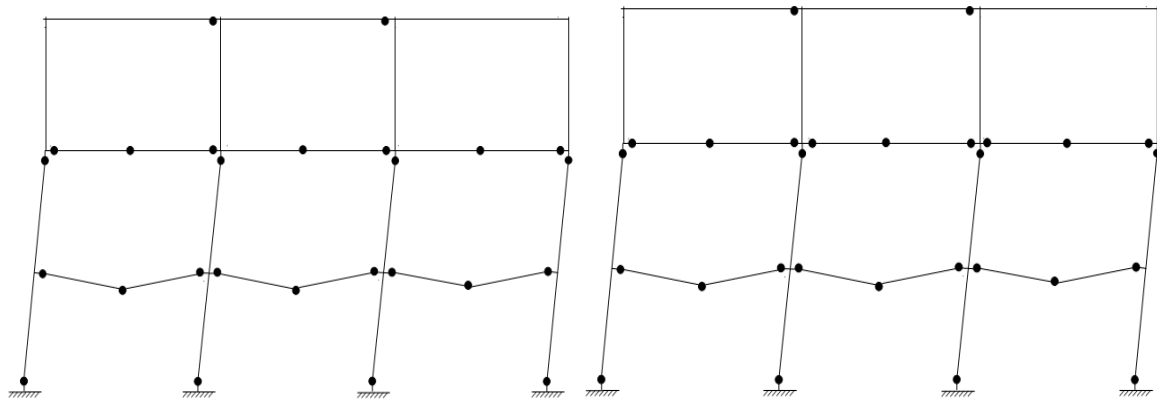
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.104$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 4.104$



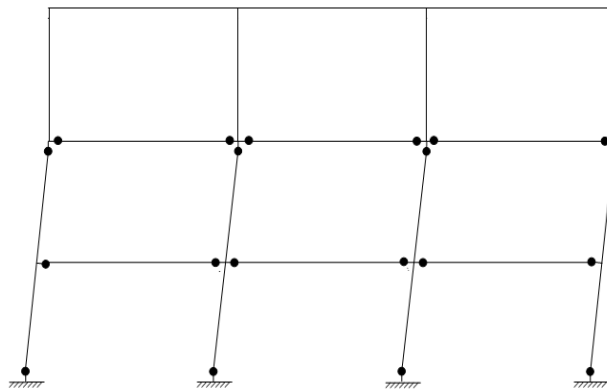
c- mécanisme de ruine pour $0.823 < \alpha < 4.104$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.823$



e- mécanisme de ruine pour $0.565 \leq \alpha \leq 0.823$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.565$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.565$

Figure 4.11 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha > 4.310$ en BOA , et de $\alpha > 4.104$ en BDSA , les valeurs des charges concentrées verticales, V, sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H, les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est un « top, second and lower beam mechanism», ces mécanismes de poutre ont lieu suite à la formation de vingt sept rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4.10.a) et (4.11.a)

- Pour l'intervalle de $0.866 < \alpha < 4.310$ en BOA , et de $0.823 < \alpha < 4.104$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt deux, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure 4.10.c) et (figure 4.11.c).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 28$. Ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Pour les cas de $\alpha = 0.866$ en BOA , et de $\alpha = 0.823$ en BDSA la vingt huitième rotule développée, pour ce cas, donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total second storey sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure 4-10-d) et (figure 4-11-d).
- Pour l'intervalle $0.584 \leq \alpha \leq 0.866$ en BOA , et de $0.565 \leq \alpha \leq 0.823$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se forme mais avec seize rotules plastiques. Pour toute valeur de α comprise entre 0.584 et 0.866 en BOA , et de 0.565 et 0.823 en BDSA ; l'ordre de formation de rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les rotules plastiques formées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage pourront être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les sept rotules plastiques considérées comme bloquées sont développées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage (figure 4-10-e) et (figure 4-11-e).
- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.584$ en BOA, et de $\alpha \leq 0.565$ en BDSA le mécanisme est un « total first and second story sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-10-g) et (figure 4-11-g).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 4.310$ en BOA , et de $\alpha > 4.104$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.866 < \alpha \leq 4.310$ en BOA , et de $0.823 < \alpha \leq 4.104$ en BDSA ; Les valeurs de $\alpha = 4.310$ en BOA , et de $\alpha = 4.104$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism» et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeur de $\alpha = 0.866$ en BOA, et de $\alpha = 0.823$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées vingt huit rotule, les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total combined mechanism » et l'autre participe à la formation du « total second storey sway mechanism » donc le mécanisme de ruine formé est une combinaison entre les deux mécanisme « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total combined mechanism ».
- Une combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » a lieu pour $0.584 \leq \alpha < 0.866$ en BOA , et de $0.565 \leq \alpha < 0.823$ en BDSA; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive qui a produit «left hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage. Les valeurs de $\alpha = 0.584$ en BOA , et de $\alpha = 0.565$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine «second storey sway mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » avec le « second storey sway mechanism ».

- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.584$ en BOA , et de $\alpha < 0.565$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total first and second story sway mechanisms » sont observés. Ce mécanisme ne peut être se déformé qu'avec deux autre «joint rotation mechanism» au niveau de premier étage et «left and right hand joint rotation mechanism» au niveau de deuxième étage.

v)- 5^{ème} cas : $A_s = 4 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$$k_1 = 0.459$$

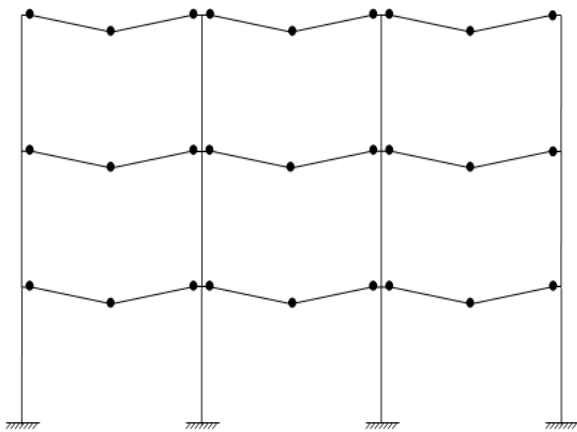
$$k_2 = 0.416$$

$$\varepsilon_{cu} = 3500$$

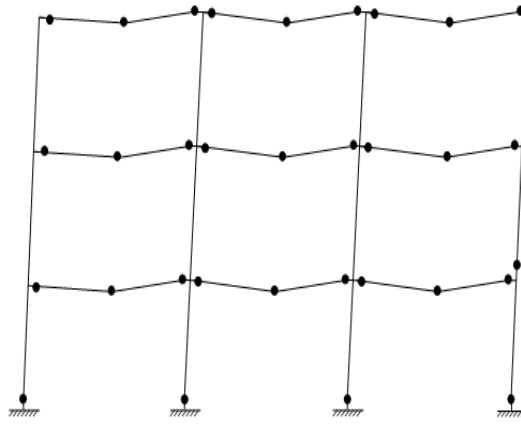
$$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$$

$$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$$

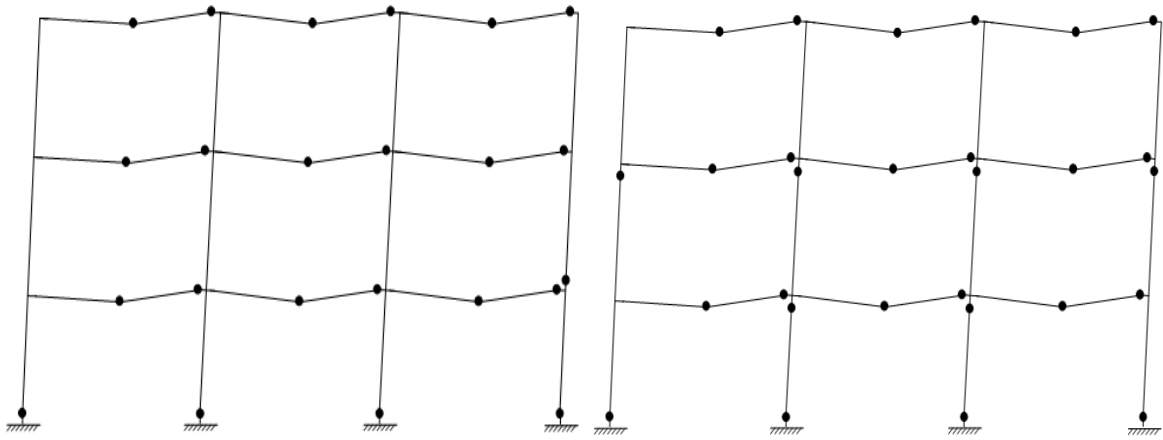
$$M_{pc} = 344 \text{ kN.m}$$



a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 5.128$

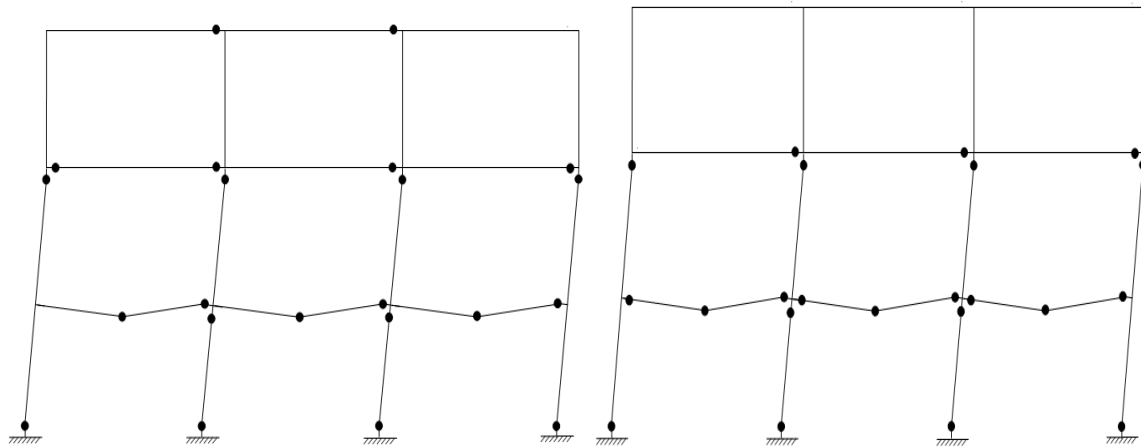


b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 5.128$



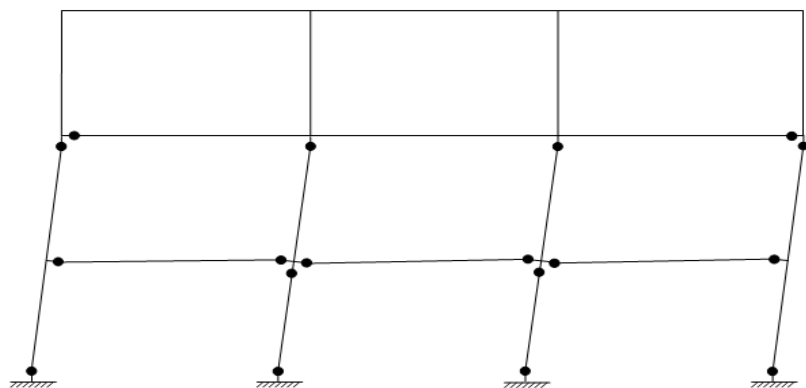
c- mécanisme de ruine pour $1.149 \leq \alpha \leq 5.128$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.149$



e- mécanisme de ruine pour $0.651 \leq \alpha \leq 1.149$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.651$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.651$

Figure 4.12 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 4 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

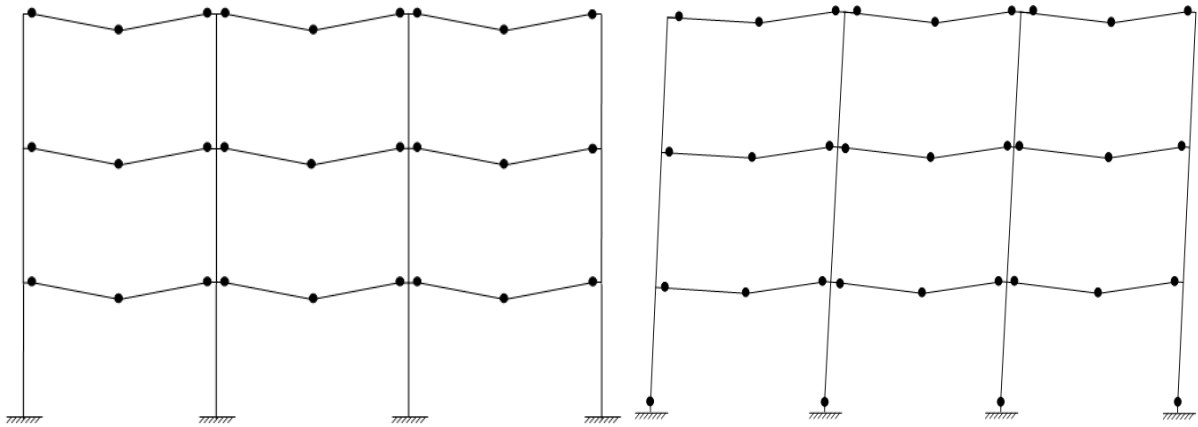
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

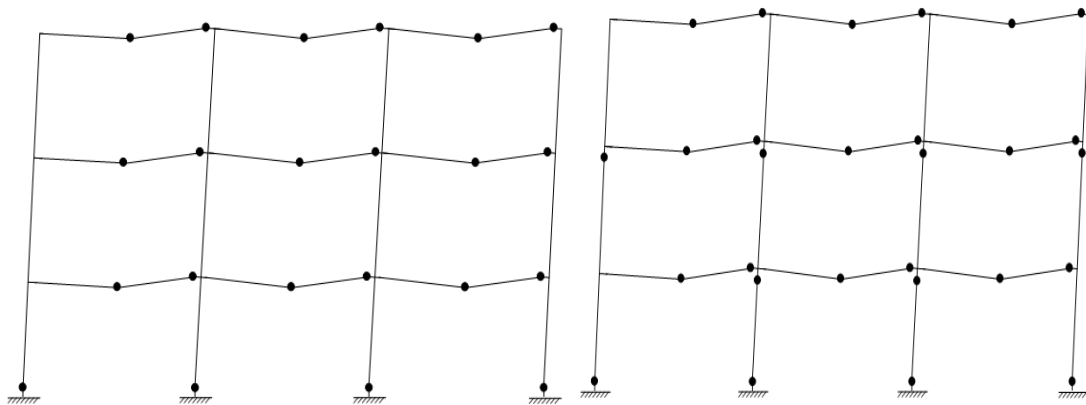
$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 362 \text{ kN.m}$



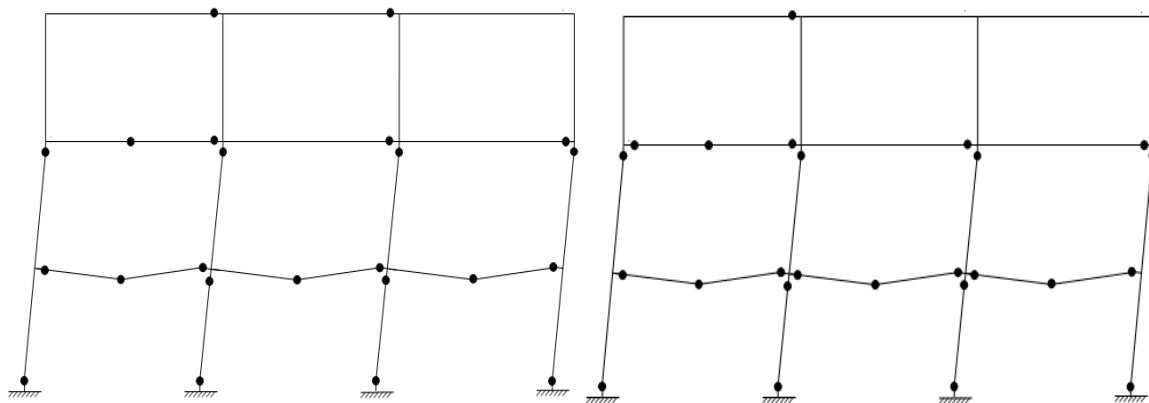
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.888$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 4.888$



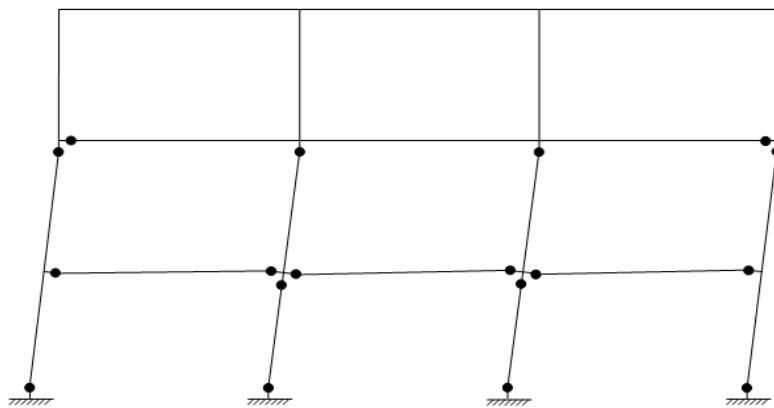
c- mécanisme de ruine pour $1.052 < \alpha < 4.888$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.052$



e- mécanisme de ruine pour $0.613 \leq \alpha \leq 1.052$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.613$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.613$

Figure 4.13 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 4 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha > 5.128$ en BOA, et de $\alpha > 4.888$ en BDSA, les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est un « top, second and lower beam mechanism », ces mécanismes de poutre ont lieu suite à la formation de vingt sept rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4.12.a) et (4.13.a).

- Pour l'intervalle de $1.149 < \alpha < 5.128$ en BOA, et de $1.052 < \alpha < 4.888$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt deux, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure 4.12.c) et (figure 4.13.c).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 28$. Ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Pour les cas de $\alpha = 1.149$ en BOA, et de $\alpha = 1.052$ en BDSA la vingt huitième rotule développée, pour ce cas, donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total second storey sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure 4-12-d) et (figure 4-13-d).
- Pour l'intervalle $0.651 \leq \alpha \leq 1.149$ en BOA, et de $0.613 \leq \alpha \leq 1.052$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se forme mais avec seize rotules plastiques. Pour toute valeur de α comprise entre 0.651 et 1.149 en BOA, et entre 0.613 et 1.052 en BDSA; l'ordre de formation de rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les rotules plastiques formées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage pourront être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les sept rotules plastiques considérées comme bloquées sont développées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage (figure 4-12-e) et (figure 4-13-e).

- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.651$ en BOA , et de $\alpha \leq 0.613$ en BDSA le mécanisme est un « total first and second storey sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-12-g)et (figure 4-13-g).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 5.128$ en BOA, et de $\alpha > 4.888$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $1.149 < \alpha \leq 5.128$ en BOA , et de $1.052 < \alpha \leq 4.888$ en BDSA ; Les valeurs de $\alpha = 5.128$ en BOA , et de $\alpha = 4.888$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism» et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- la valeur de $\alpha = 1.149$ en BOA, et de $\alpha = 1.052$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées vingt huit rotule, les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total combined mechanism » et l'autre participe à la formation du « total second storey sway mechanism » donc le mécanisme de ruine formé est une combinaison entre les deux mécanisme « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total combined mechanism ».
- Une combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » a lieu pour $0.651 \leq \alpha < 1.149$ en BOA , et de $0.613 \leq \alpha < 1.052$ en BDSA; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive qui a produit «left hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage. Les valeurs de $\alpha = 0.613$ en BOA , et de $\alpha = 0.613$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine «second storey sway

mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » avec le « second storey sway mechanism ».

- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.651$ en BOA , et de $\alpha < 0.613$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total first and second story sway mechanisms » sont observés. Ce mécanisme ne peut être se déformé qu'avec deux autre «joint rotation mechanism» au niveau de premier étage et «left and right hand joint rotation mechanism» au niveau de deuxième étage.

4-5-2-2 portique P 3N 4T :

4-5-2-2-1 Présentation Des Mécanismes :

Une série de combinaisons de charges concentrée verticales et horizontales a été réalisé en fonction de α pour , et le changement de pourcentage d'armateur, les mécanismes de ruine obtenus sont représentés sur les figures (4-14) à(4-23) avec l'emplacement des rotules plastiques sur le portique témoin **P 3N 4T**.

i)- 1^{er} cas : $A_s = A_{s \min}$

- poteau $A_{s \min} = 0,8 \%$

- poutre $A_{s \min} = 0,5 \%$

a)- Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

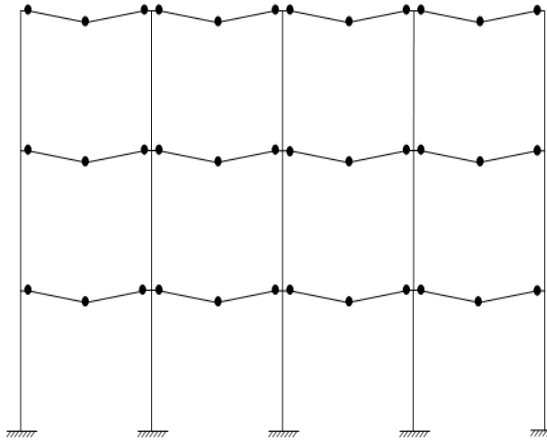
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

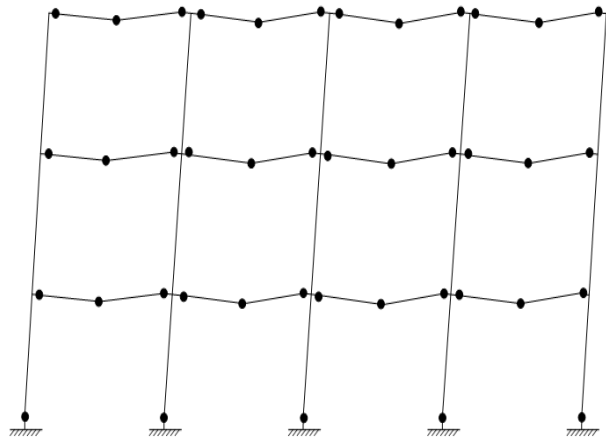
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

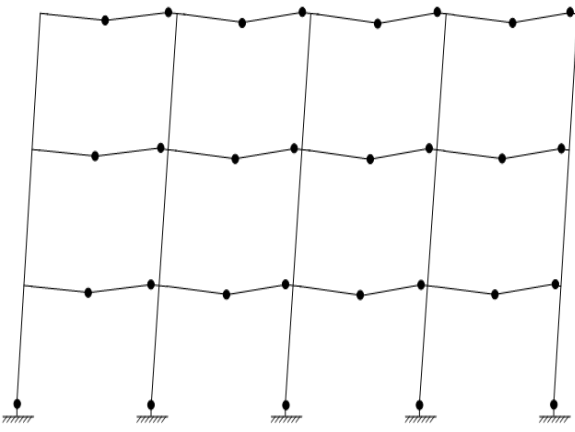
$M_{pc} = 234 \text{ kN.m}$



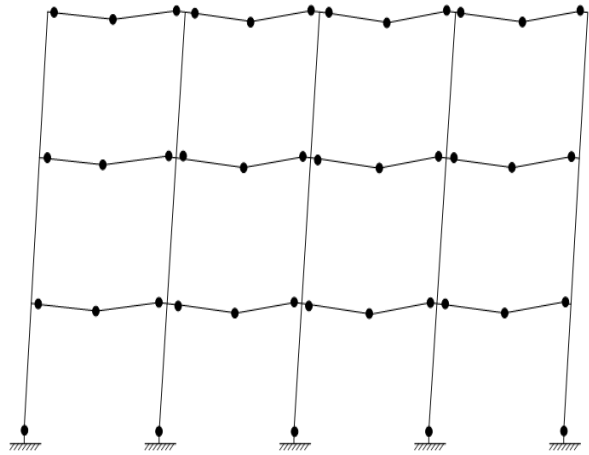
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 0.861$



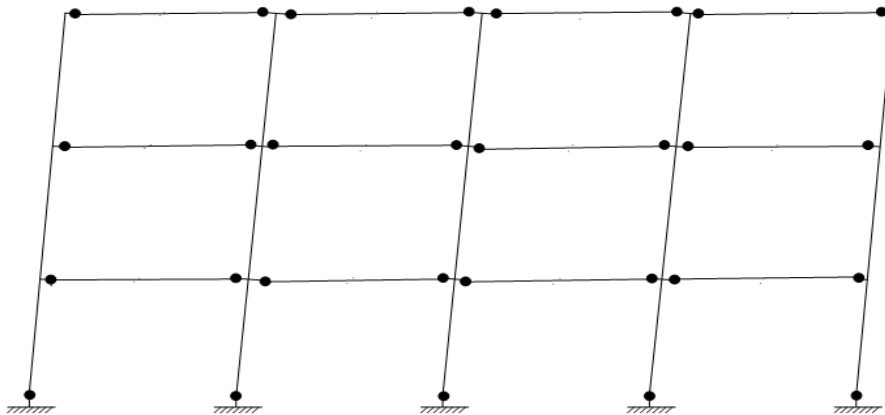
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.861$



c- mécanisme de ruine pour $0.231 \leq \alpha \leq 0.861$



d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.231$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.231$

Figure 4.14 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de A_s min .

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

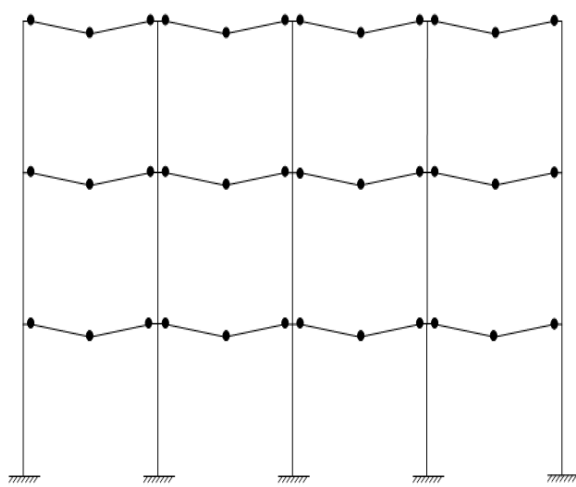
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

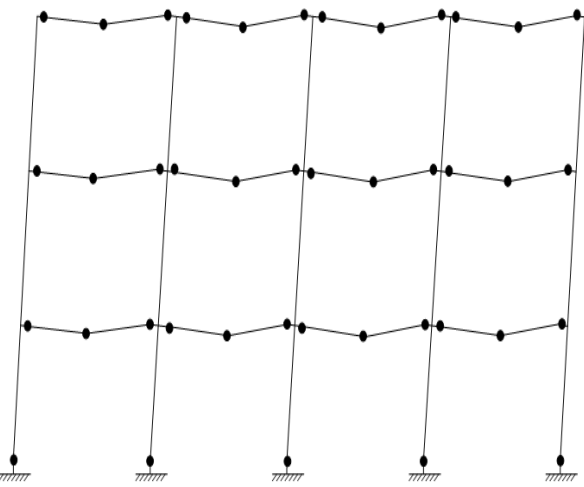
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

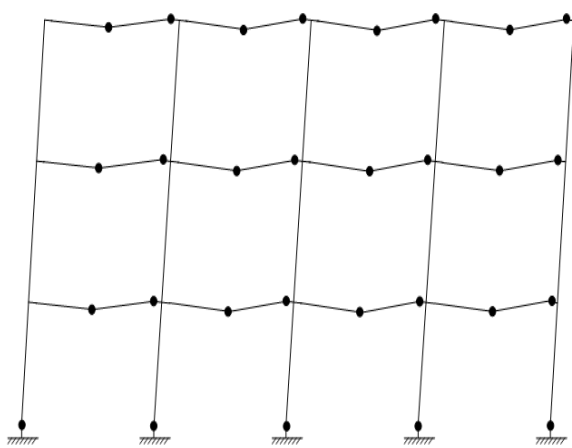
$M_{pc} = 247 \text{ kN.m}$



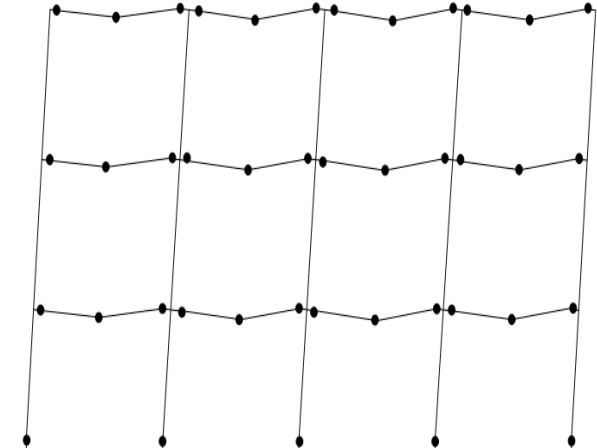
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 0.816$



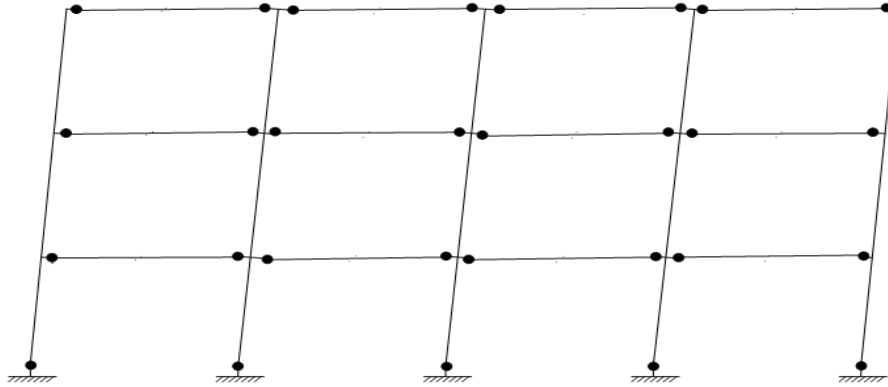
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.816$



c- mécanisme de ruine pour $0.225 \leq \alpha \leq 0.816$



d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.225$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.225$

Figure 4.15 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de A_s min.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 0.816$ en BOA , et de $\alpha \geq 0.816$ en BDSA, les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4-14-a)et (4-15-a).
- Pour les valeurs de $\alpha = 0.861$ et $\alpha = 0.231$ en BOA , et de $\alpha = 0.816$ et $\alpha = 0.225$ en BDSA donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure4-14-b) et (figure4-14-d)et (figure4-15-b) et (figure4-15-d).
- Pour l'intervalle de $0.231 < \alpha < 0.861$ en BOA, et de $0.225 < \alpha < 0.816$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de Vingt-neuf , et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme

de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-14-c)et (figure4-15-c).

- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.231$ en BOA , et de $\alpha \leq 0.225$ en BDSA le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la Vingt-neuf rotule et est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-14-e) et (figure 4-15-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 0.861$ en BOA , et de $\alpha > 0.816$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.231 < \alpha \leq 0.861$ en BOA , et de $0.225 < \alpha \leq 0.816$ en BDSA, Les valeurs de $\alpha = 0.861$ en BOA , et de $\alpha = 0.816$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeurs de $\alpha = 0.86$ et $\alpha = 0.231$ en BOA , et de $\alpha = 0.816$ et $\alpha = 0.225$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-une rotule .
- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.231$ en BOA , et de $\alpha < 0.225$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des «total sway mechanisms » sont observés.

ii)- 2^{ème} cas: $A_s = 1 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

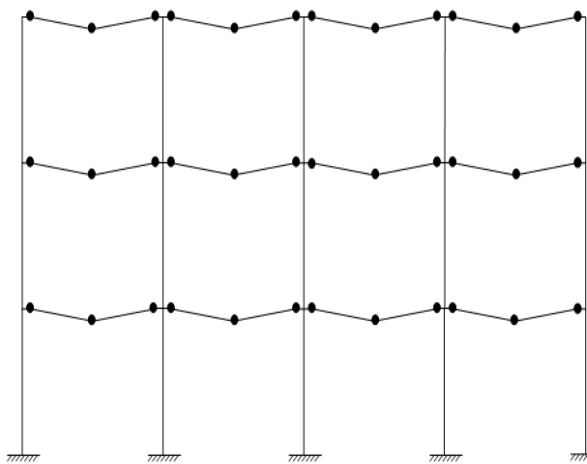
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

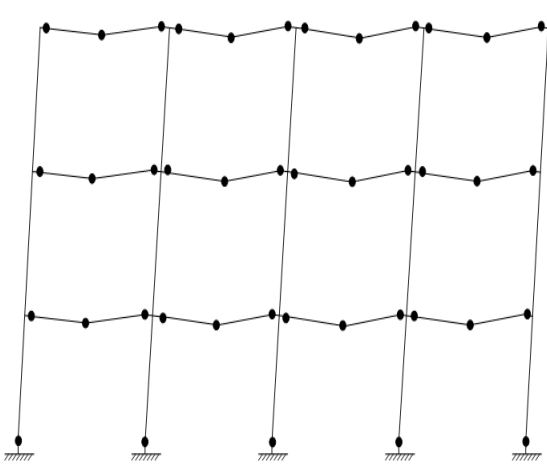
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

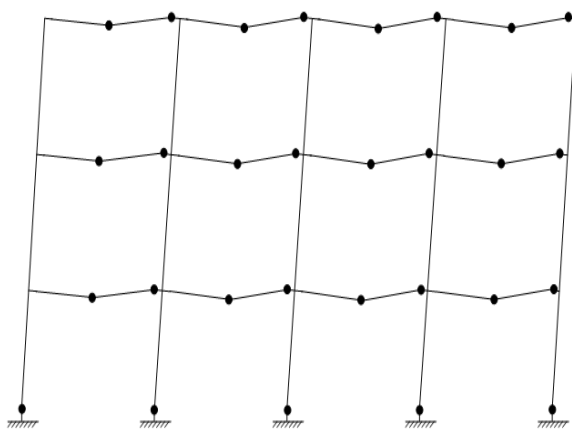
$M_{pc} = 241 \text{ kN.m}$



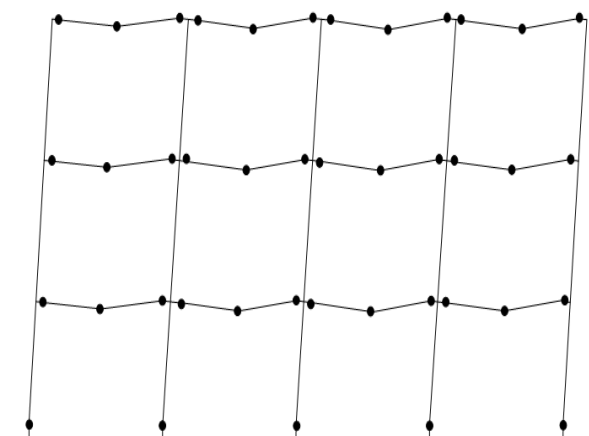
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.553$



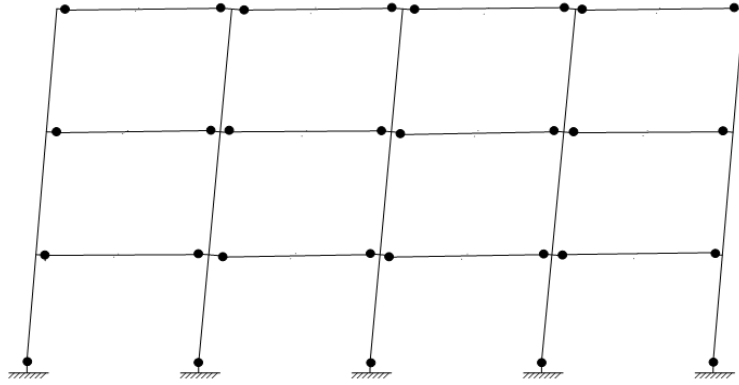
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.553$



c- mécanisme de ruine pour $0.304 \leq \alpha \leq 1.553$



d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.304$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.304$

Figure 4.16 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 1 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

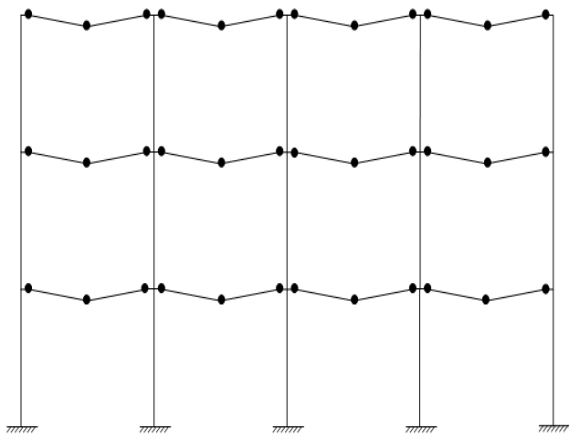
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

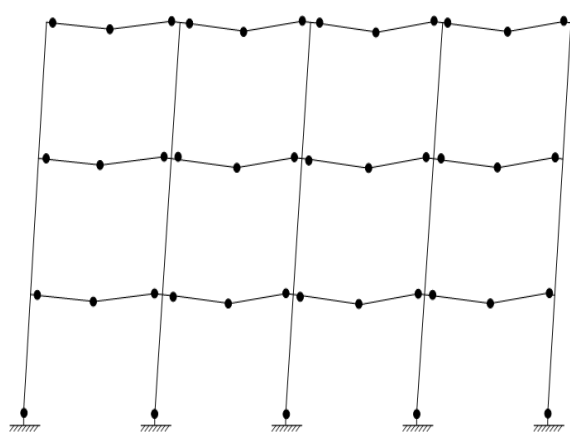
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

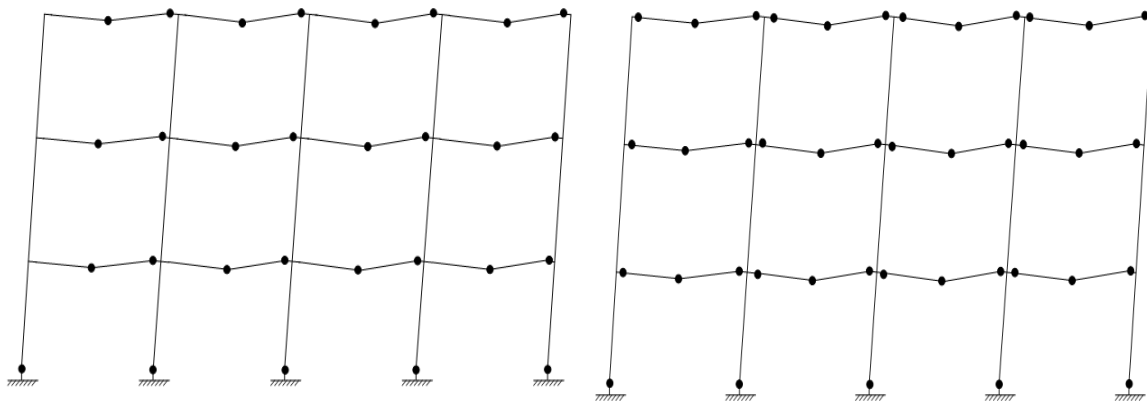
$M_{pc} = 255 \text{ kN.m}$



a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.487$

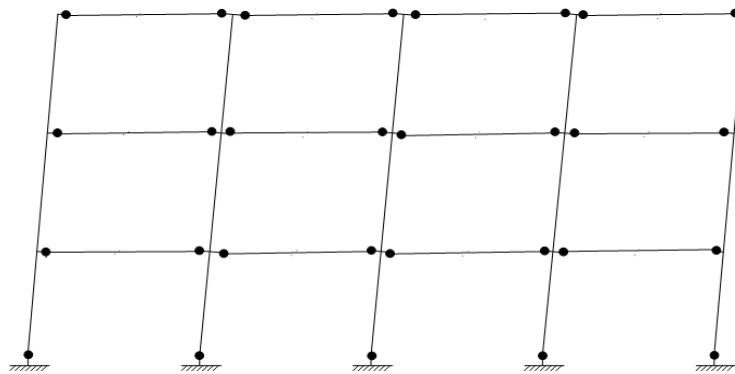


b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.487$



c- mécanisme de ruine pour $0.299 \leq \alpha \leq 1.487$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.299$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.299$

Figure 4.17 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 1.553$ en BOA , et de $\alpha \geq 1.487$ en BDSA , les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui du figure (4-16-a) et (4-17-a).

- Pour les valeurs de $\alpha = 1.553$ et $\alpha = 0.304$ en BOA , $\alpha = 1.487$ et $\alpha = 0.299$ en BDSA donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure4-16-b) et (figure4-16-d) et (figure4-17-b) et (figure4-17-d).
- Pour l'intervalle de $0.304 < \alpha < 1.553$ en BOA , et de $0.299 < \alpha < 1.487$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de Vingt-neuf , et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-16-c) et (figure4-17-c).
- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.304$ en BOA , et de $\alpha \leq 0.299$ en BDSA le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la Vingt-neuf rotule et est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-16-e) et (figure 4-17-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 1.553$ en BOA , et de $\alpha > 1.487$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les « beam mechanisms » au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.304 < \alpha \leq 1.553$ en BOA , et de $0.299 < \alpha \leq 1.487$ en BDSA , Les valeurs de $\alpha = 1.553$ en BOA , et de $\alpha = 1.487$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».

- les valeurs de $\alpha = 1.553$ et $\alpha = 0.304$ en BOA, et de $\alpha = 1.487$ et $\alpha = 0.299$ en BDSA peuvent être considérées comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-une rotules.
- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.304$ en BOA, et de $\alpha < 0.299$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total sway mechanisms » sont observés.

iii) - 3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

a)-Béton ordinaire armé :

$k_1 = 0.459$

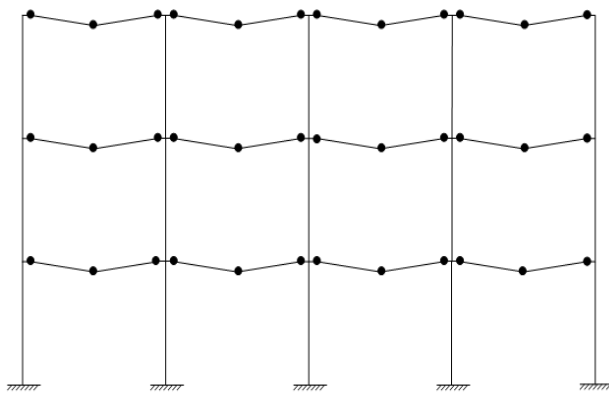
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

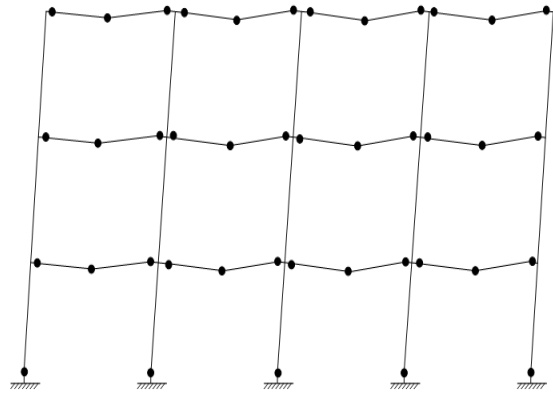
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

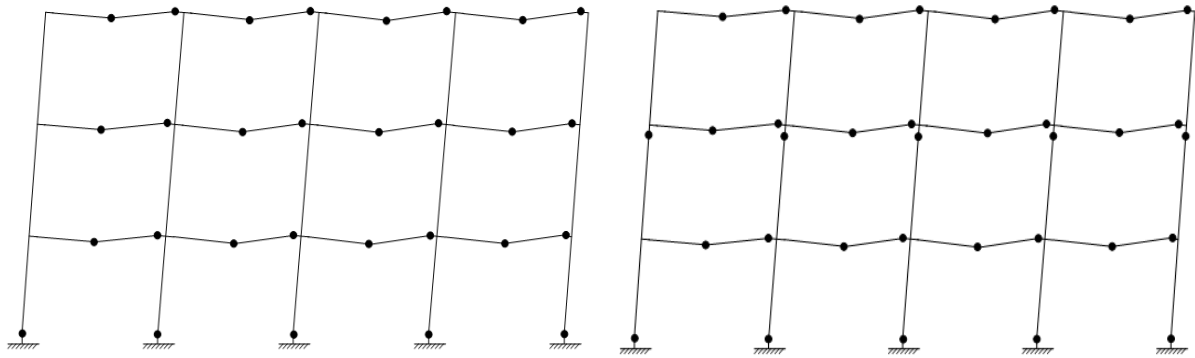
$M_{pc} = 275 \text{ kN.m}$



a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 2.618$

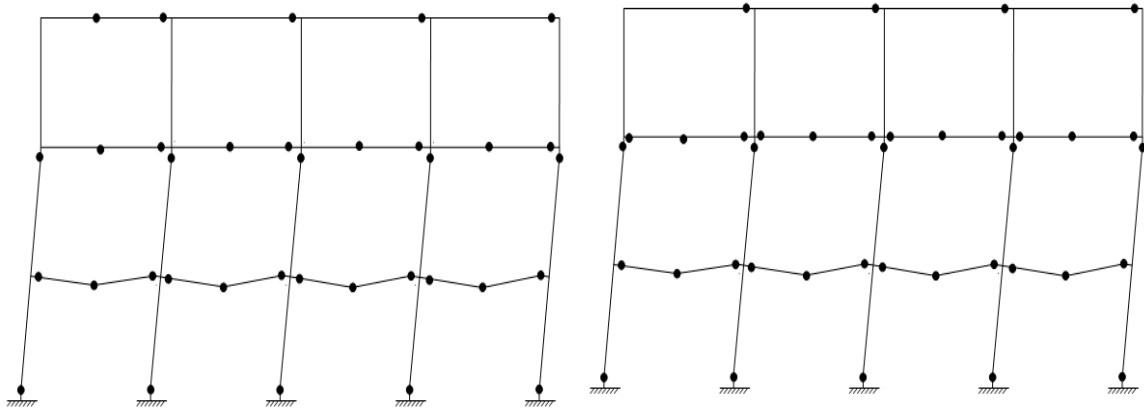


b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 2.618$



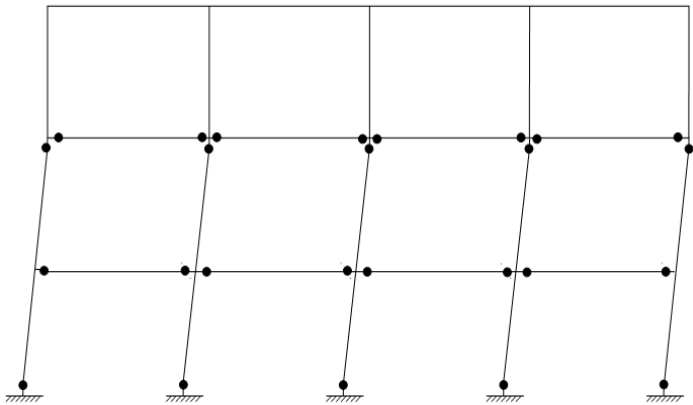
c- mécanisme de ruine pour $0.441 \leq \alpha \leq 2.618$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.441$



e- mécanisme de ruine pour $0.380 \leq \alpha \leq 0.441$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.380$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.380$

Figure 4.18 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 2 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

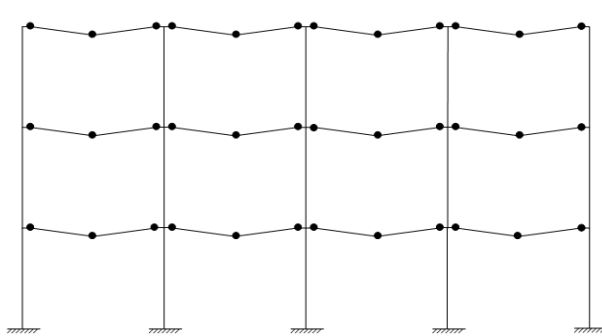
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

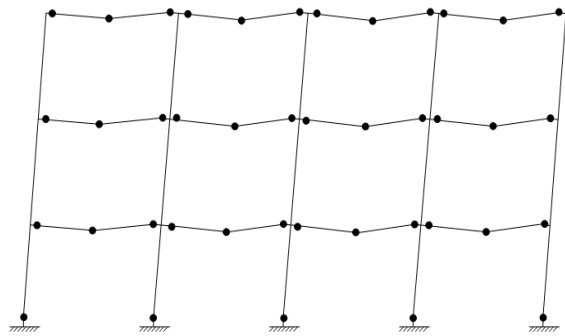
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

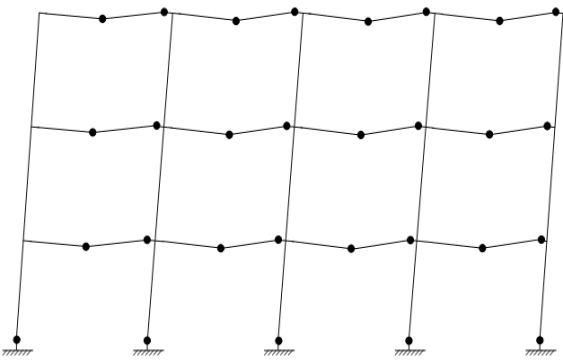
$M_{pc} = 291 \text{ kN.m}$



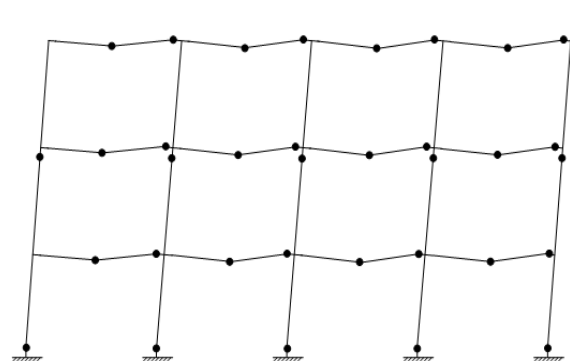
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 2.490$



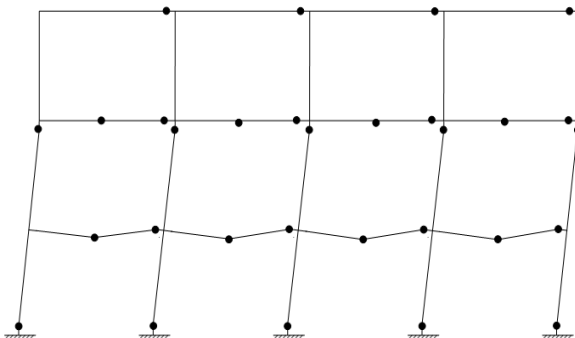
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 2.490$



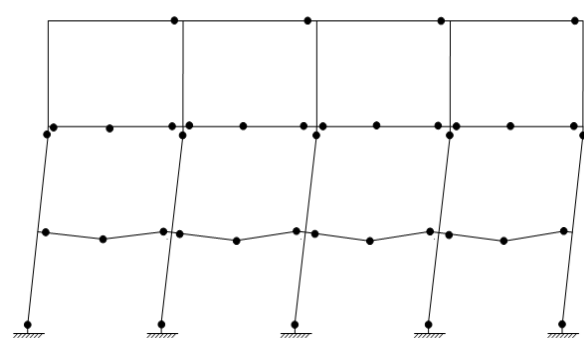
c- mécanisme de ruine pour $0.409 \leq \alpha \leq 2.490$



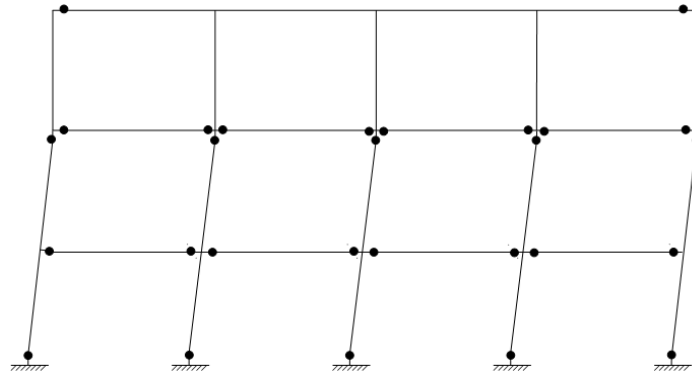
d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.409$



e- mécanisme de ruine pour $0.367 \leq \alpha \leq 0.409$



f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.367$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.367$

Figure 4.19 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 2 %.

-Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 2.618$ en BOA, et de $\alpha \geq 2.490$ en BDSA les valeurs des charges concentrées verticales V, sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H, les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui du figure (4-18-a) et (4-19-a).
- Pour l'intervalle de $0.441 < \alpha < 2.618$ en BOA , et de $0.409 < \alpha < 2.490$ en BDSA la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformabilité. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure 4-18-b) et (figure 4-19-b).
- Pour les cas de $\alpha = 0.441$ en BOA , et de $\alpha = 0.409$ en BDSA donne un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total second

storey sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure 4-18-d) et (figure 4-19-d).

- Pour l'intervalle $0.380 \leq \alpha < 0.441$ en BOA , et de $0.367 \leq \alpha < 0.409$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism ». Pour toute valeur de α comprise entre 0.380 et 0.441 en BOA , et de 0.367 et 0.409 en BDSA ; l'ordre de formation des rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les rotules plastiques formées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage pourraient être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les huit rotules plastiques considérées comme bloquées ont lieu au niveau des poutres du deuxième et dernier étage (figure 4-18-e) et (figure 4-19-e).
- « total first and second storey sway mechanism » se forme avec la naissance de la vint troisième rotule pour des valeurs de $\alpha < 0.380$ en BOA , et de $\alpha < 0.367$ en BDSA ; donc les charges horizontales sont prépondérantes (figure 4-18-g). (figure 4-19-g).

- Synthèse

- pour des valeurs de $\alpha > 2.618$ en BOA, et de $\alpha > 2.490$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément des «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » est observé pour $0.441 < \alpha \leq 2.618$ en BOA , et de $0.409 < \alpha \leq 2.490$ en BDSA ; Les valeurs de $\alpha = 2.618$ en BOA , et de $\alpha = 2.490$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism» et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».

- les valeurs de $\alpha = 0.441$ en BOA , et de $\alpha = 0.409$ en BDSA le mécanisme de ruine formé est une combinaison entre les deux mécanismes « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total combined mechanism ».
- « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se produit pour $0.380 < \alpha \leq 0.441$ en BOA, et de $0.367 < \alpha \leq 0.409$ en BDSA . La valeur de $\alpha = 0.380$ en BOA , et de $\alpha = 0.367$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « total first and second storey sway mechanism » et la combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism ».
- pour $\alpha < 0.380$ en BOA , et de $\alpha < 0.367$ en BDSA des « total first and second storey sway mechanism » sont observés. Ce mécanisme ne peut être avoir lieu qu'avec trois autres «joint rotation mechanism» au niveau du premier étage et «left and right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage.

iv)- 4^{ème} cas: $A_s = 3\%$

a)-Béton ordinaire armée :

$$k_1 = 0.459$$

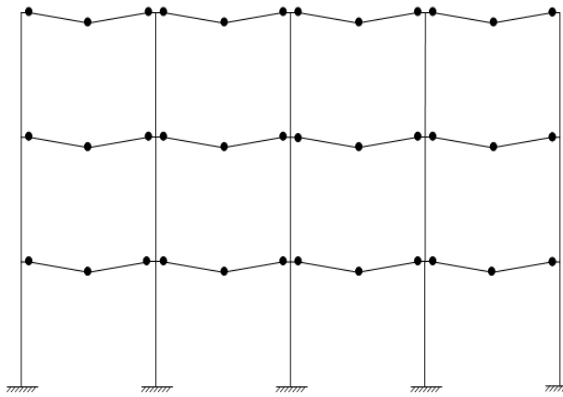
$$k_2 = 0.416$$

$$\varepsilon_{cu} = 3500$$

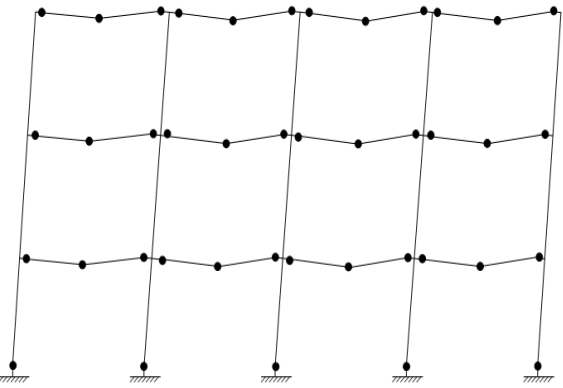
$$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$$

$$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$$

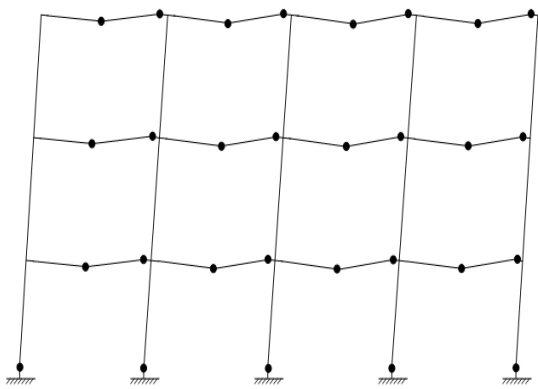
$$M_{pc} = 310 \text{ kN.m}$$



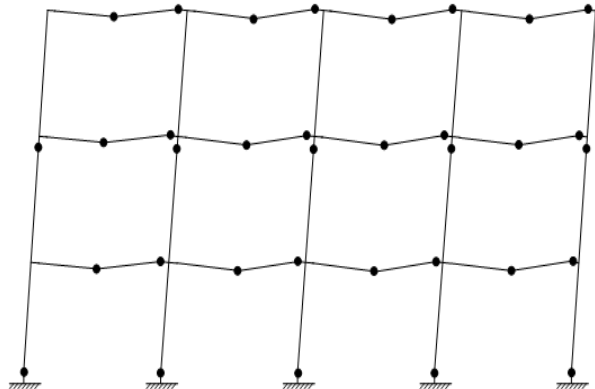
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 3.437$



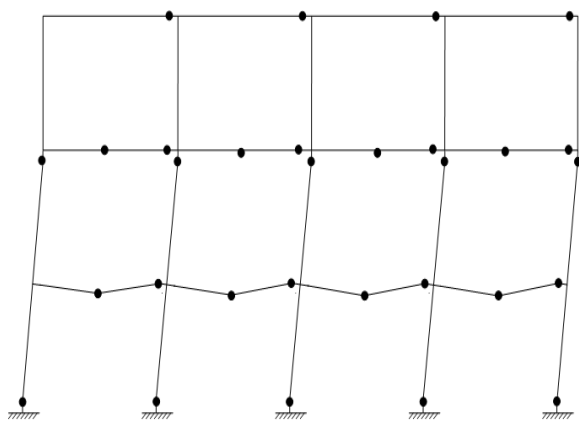
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 3.437$



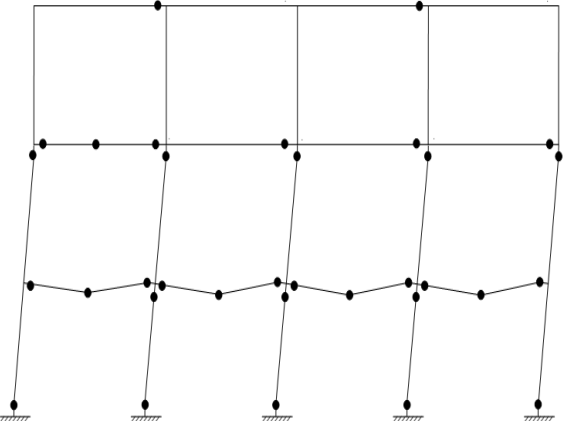
c- mécanisme de ruine pour $0.694 \leq \alpha \leq 3.437$



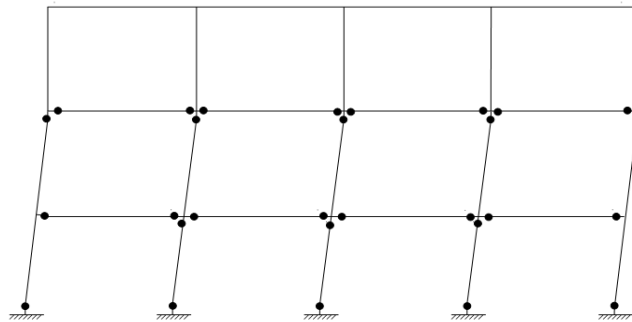
d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.694$



e- mécanisme de ruine pour $0.455 \leq \alpha \leq 0.694$



f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.455$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.455$

Figure 4.20: Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 3 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

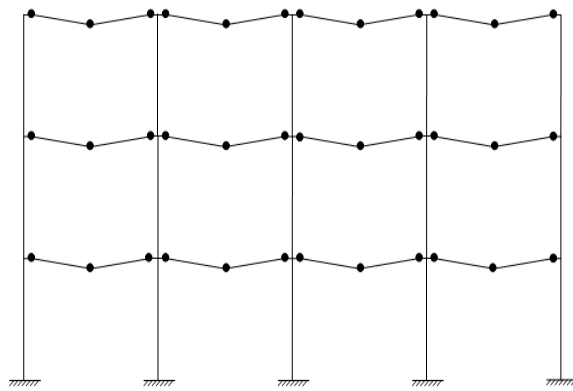
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

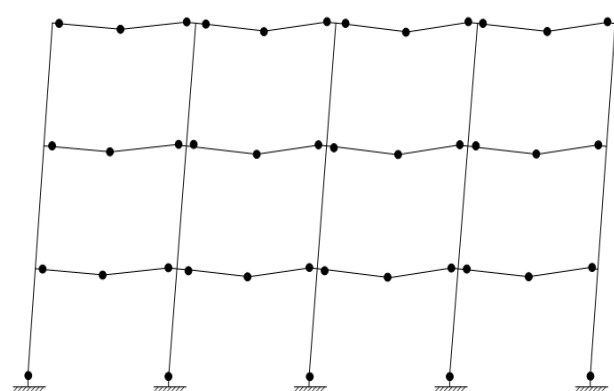
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

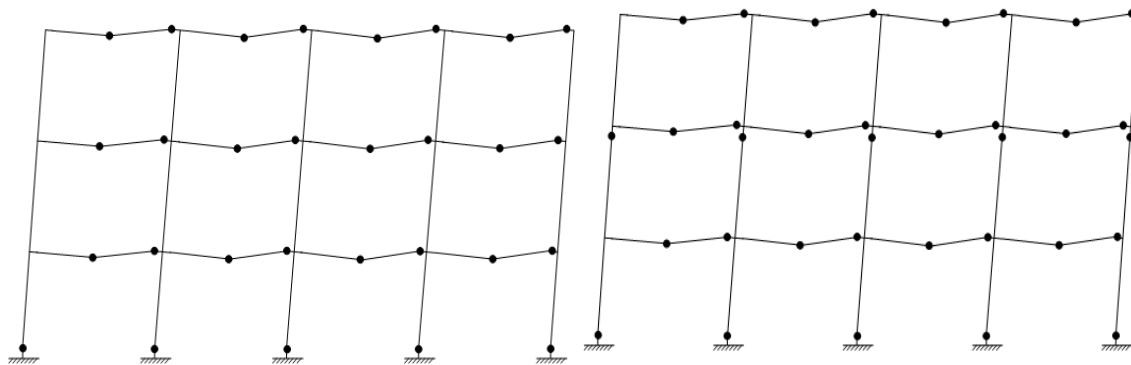
$M_{pc} = 327 \text{ kN.m}$



a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 3.273$

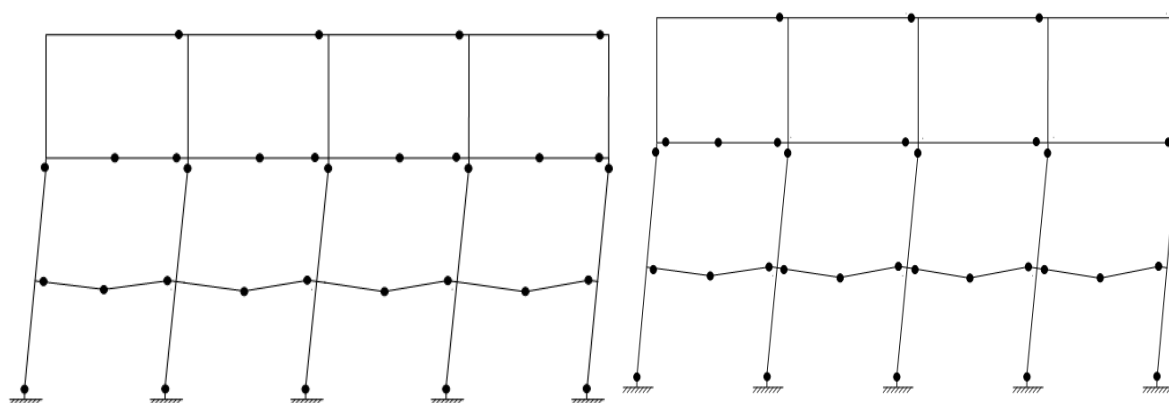


b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 3.273$



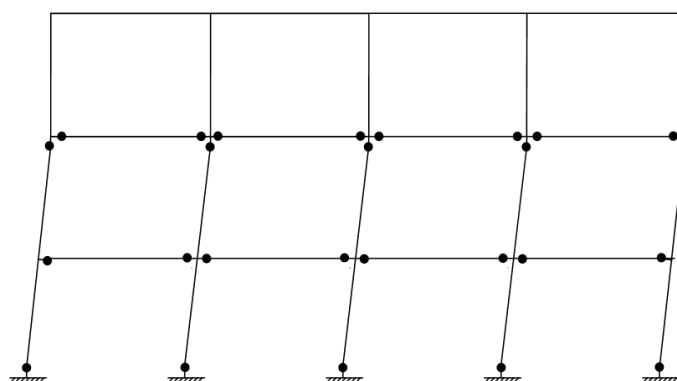
c- mécanisme de ruine pour $0.654 \leq \alpha \leq 3.273$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.654$



e- mécanisme de ruine pour $0.441 \leq \alpha \leq 0.654$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.441$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.441$

Figure 4.21 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3 %.

-Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 3.437$ en BOA , et de $\alpha \geq 3.273$ en BDSA les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui du figure(4-20-a) et (4-21-a).
- Pour l'intervalle de $0.694 < \alpha < 3.437$ en BOA , et de $0.654 < \alpha < 3.273$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt neuf, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformabilité. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure 4-20-b) et (figure 4-21-b).
- Pour les cas de $\alpha = 0.694$ en BOA , et de $\alpha = 0.662$ en BDSA la trente quatrième rotule développée pour ce cas donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total second storey sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure 4-20-d) et (figure 4-21-d).
- Pour l'intervalle $0.455 \leq \alpha < 0.694$ en BOA , et de $0.441 \leq \alpha < 0.654$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » . Pour toute valeur de α comprise entre 0.455 et 0.694 en BOA , et de 0.441 et 0.654 en BDSA ; l'ordre de formation des rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les rotules plastiques formées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage pourraient être considérées comme bloquées

(car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les huit rotules plastiques considérées comme bloquées ont lieu au niveau des poutres du deuxième et dernier étage (figure 4-20-e) et (figure 4-21-e).

- « total first and second storey sway mechanism » se forme avec la naissance de la vingt troisième rotule pour des valeurs de $\alpha < 0.455$ en BOA , et de $\alpha < 0.441$ en BDSA ; donc les charges horizontales sont prépondérantes (figure 4-21-g).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 3.437$ en BOA , et de $\alpha > 3.273$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément des «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » est observé pour $0.694 < \alpha \leq 3.437$ en BOA , et de $0.654 < \alpha \leq 3.273$; Les valeurs de $\alpha = 3.437$ en BOA , et de $\alpha = 3.273$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- la valeur de $\alpha = 0.694$ en BOA , et de $\alpha = 0.654$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et elle est la valeur pour laquelle trente quatre rotules se sont développées, le mécanisme de ruine formé est une combinaison entre les deux mécanismes « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total combined mechanism ».
- « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se produit pour $0.455 < \alpha \leq 0.694$ en BOA , et de $0.441 < \alpha \leq 0.654$ en BDSA ;. Les valeurs de $\alpha = 0.455$ en BOA, et de $\alpha = 0.441$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « total first and second storey sway mechanism » et la combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism ».

- pour $\alpha < 0.455$ en BOA , et de $\alpha < 0.441$ en BDSA des « total first and second storey sway mechanism » sont observés. Ce mécanisme ne peut être avoir lieu qu'avec trois autres «joint rotation mechanism» au niveau du premier étage et «left and right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage.

v)- 5^{ème} cas : $A_s = 4 \%$

a)- Béton ordinaire armée :

$$k_1 = 0.459$$

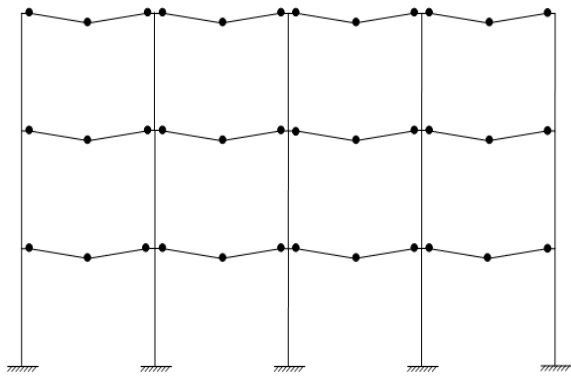
$$k_2 = 0.416$$

$$\varepsilon_{cu} = 3500$$

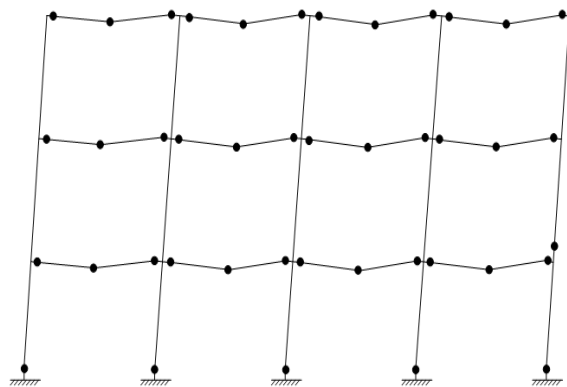
$$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$$

$$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$$

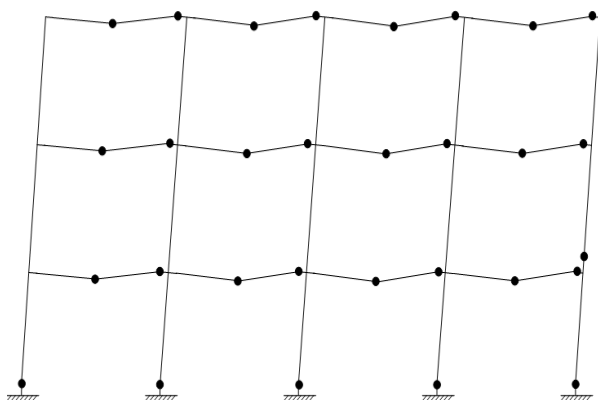
$$M_{pc} = 345 \text{ kN.m}$$



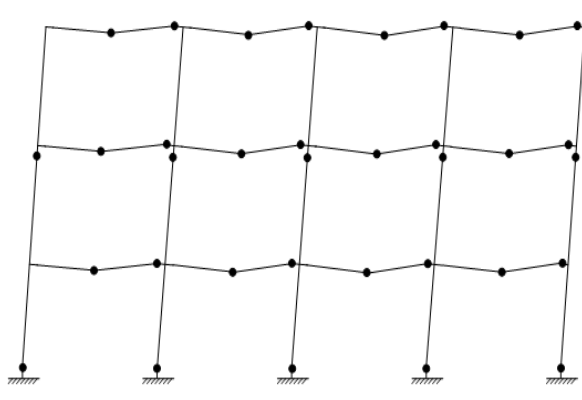
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.090$



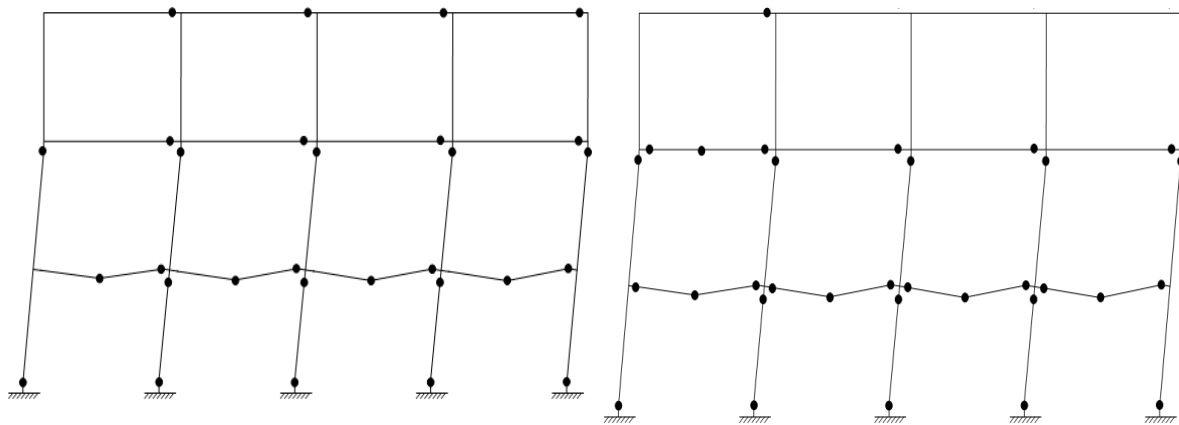
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 4.090$



c- mécanisme de ruine pour $0.901 \leq \alpha \leq 4.090$

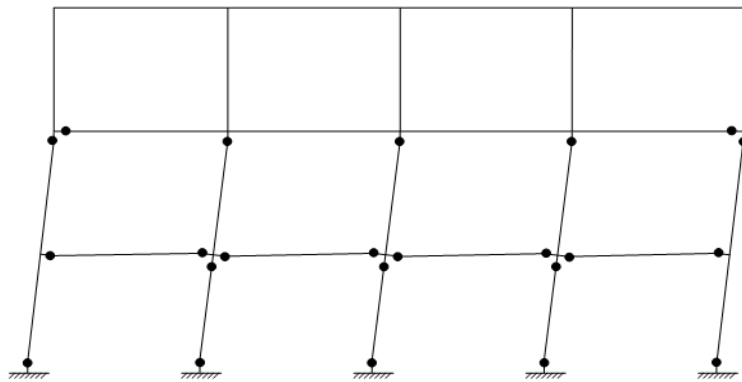


d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.901$



e- mécanisme de ruine pour $0.512 \leq \alpha \leq 0.901$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.512$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.512$

Figure 4.22 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 4 %.

b)- Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

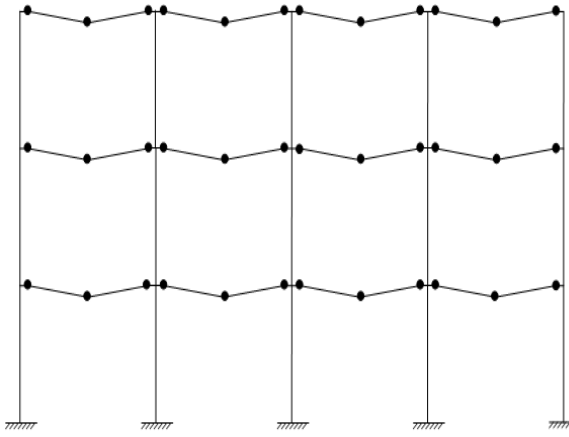
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

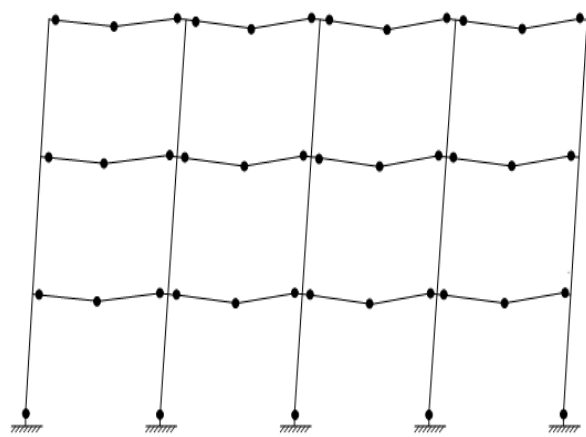
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

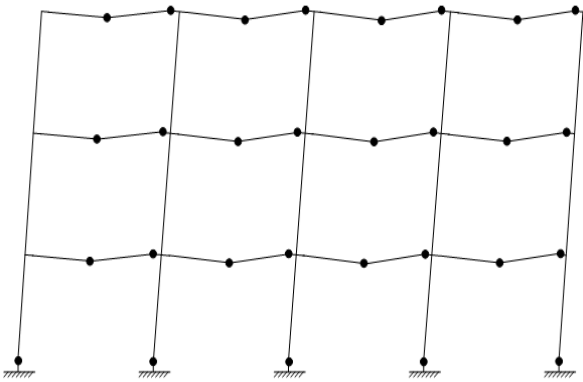
$M_{pc} = 363 \text{ kN.m}$



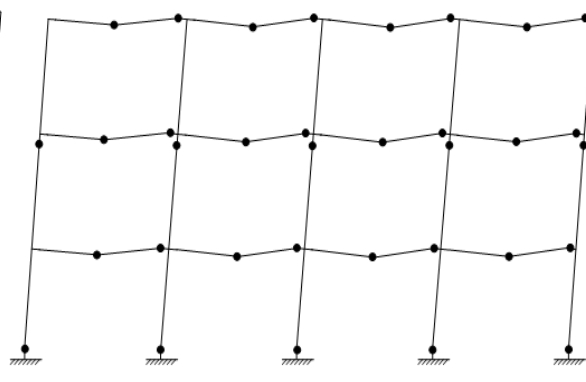
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 3.90$



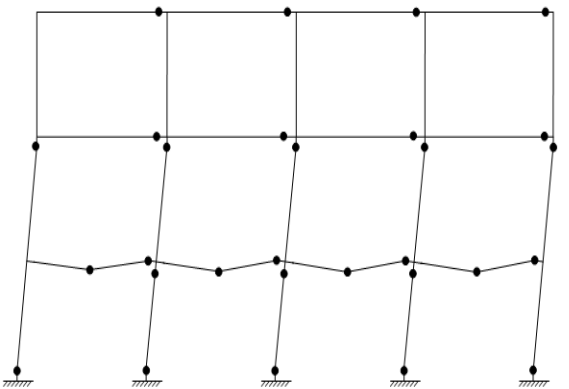
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 3.90$



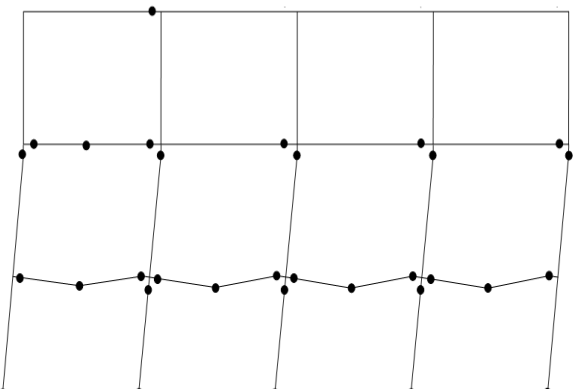
c- mécanisme de ruine pour $0.836 \leq \alpha \leq 3.90$



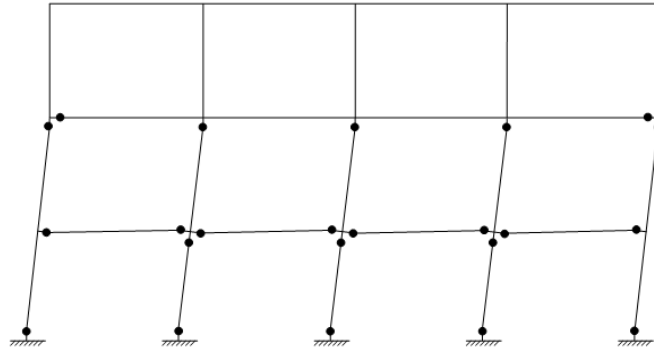
d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.836$



e- mécanisme de ruine pour $0.492 \leq \alpha \leq 0.836$



f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.492$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.492$

Figure 4.23 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 4 %.

-Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 4.09$ en BOA , et de $\alpha \geq 3.90$ en BDSA les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4-22-a) et (4-23-a).
- Pour l'intervalle de $0.901 < \alpha < 4.09$ en BOA , et de $0.836 < \alpha < 3.90$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt neuf, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformabilité. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure 4-22-b) et (figure 4-23-b).

- Pour les cas de $\alpha = 0.901$ en BOA , et de $\alpha = 0.836$ en BDSA la trente quatrième rotule développée pour ce cas donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total second storey sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure 4-22-d) et (figure 4-23-d).
- Pour l'intervalle $0.512 \leq \alpha < 0.901$ en BOA , et de $0.492 \leq \alpha < 0.836$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism ». Pour toute valeur de α comprise entre 0.512 et 0.901 en BOA , et de 0.492 et 0.872 en BDSA; l'ordre de formation des rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les rotules plastiques formées au niveau des poutres du deuxième et dernier étage pourraient être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les huit rotules plastiques considérées comme bloquées ont lieu au niveau des poutres du deuxième et dernier étage (figure 4-22-e) et (figure 4-23-e).
- « total first and second storey sway mechanism » se forme pour des valeurs de $\alpha < 0.512$ en BOA , et de $\alpha < 0.492$ en BDSA; donc les charges horizontales sont prépondérantes (figure 4-22-g) et (figure 4-23-g).

- Synthèse

- pour des valeurs de $\alpha > 3.90$ en BOA, et de $\alpha > 3.90$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément des «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » est observé pour $0.901 < \alpha \leq 4.09$ en BOA , et de $0.836 < \alpha \leq 3.90$ en BDSA ; La valeur de $\alpha = 4.090$ en BOA , et de $\alpha = 3.90$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism» et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».

- la valeur de $\alpha = 0.901$ en BOA , et de $\alpha = 0.836$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et elle est la valeur pour laquelle trente quatre rotules se sont développées les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total combined mechanism » et l'autre participe à la formation du « total second storey sway mechanism », donc le mécanisme de ruine formé est une combinaison entre les deux mécanismes « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total combined mechanism ».
- « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se produit pour $0.512 < \alpha \leq 0.901$ en BOA , et de $0.492 < \alpha \leq 0.836$ en BDSA . La valeur de $\alpha = 0.512$ en BOA , et de $\alpha = 0.492$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « total first and second storey sway mechanism » et la combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism ».
- pour $\alpha < 0.512$ en BOA , et de $\alpha < 0.492$ en BDSA des « total first and second storey sway mechanism » sont observés. Ce mécanisme ne peut être avoir lieu qu'avec trois autres «joint rotation mechanism» au niveau du premier étage et «left and right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage.

4-5-2-3 Portique P 4N 3T

4-5-2-3-1 Présentation Des Mécanismes

Les mécanismes de ruine représentés dans les figures(4-24) à (4-33) sont pour le troisième portique **P 4N 3T** .

i)- 1^{er} cas : $A_s = A_{s \min}$

-poteau $A_{s \min} = 0,8 \%$

-poutre $A_{s \min} = 0,5 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$$k_1 = 0.459$$

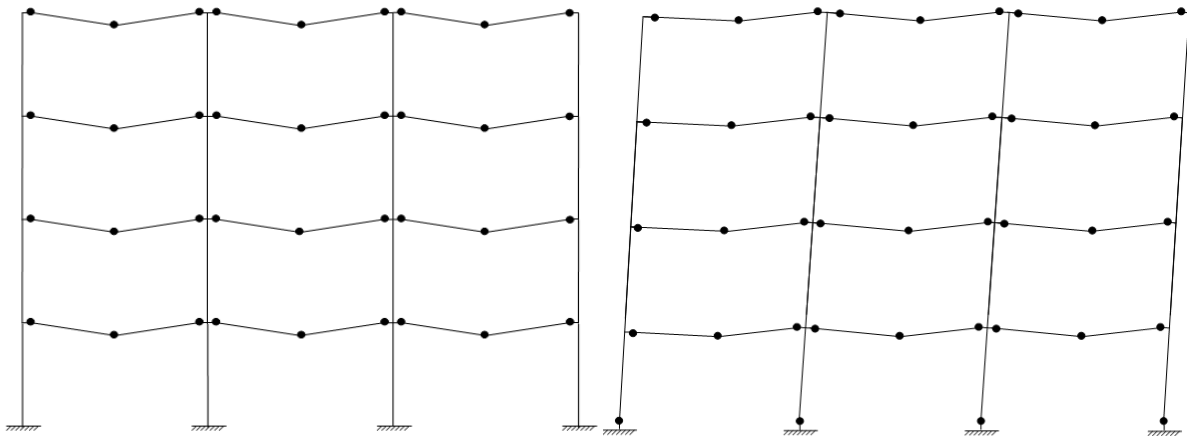
$$k_2 = 0.416$$

$$\varepsilon_{cu} = 3500$$

$$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$$

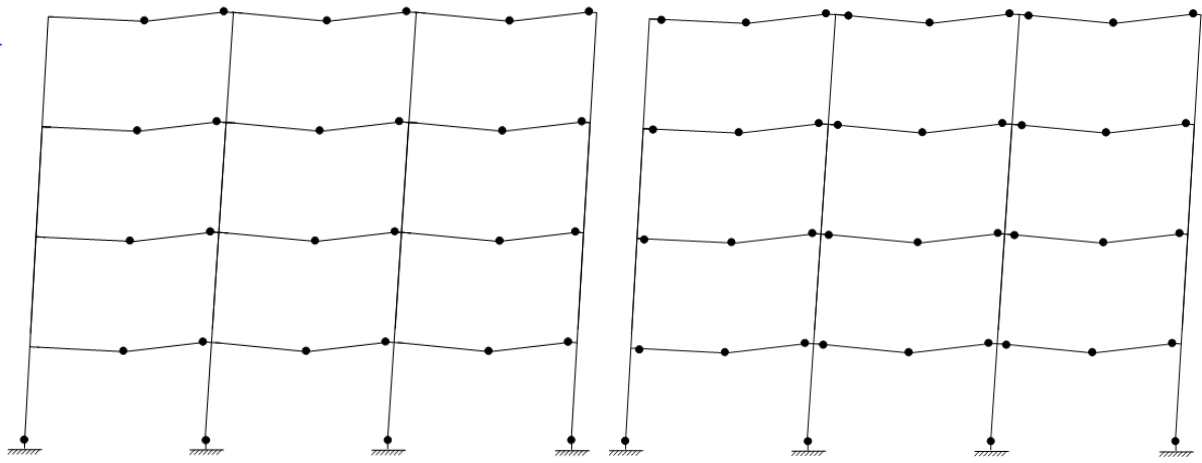
$$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$$

$$M_{pc} = 274 \text{ kN.m}$$



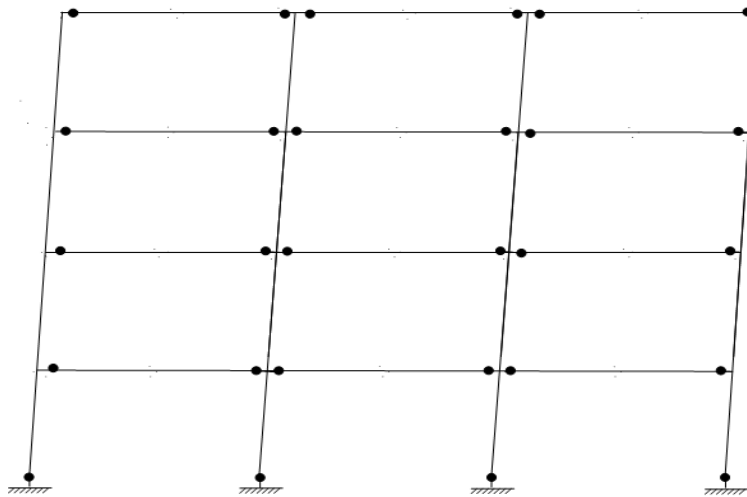
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.533$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.533$



c- mécanisme de ruine pour $0.399 \leq \alpha \leq 1.533$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.399$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.399$

Figure 4.24 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de A_s min.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

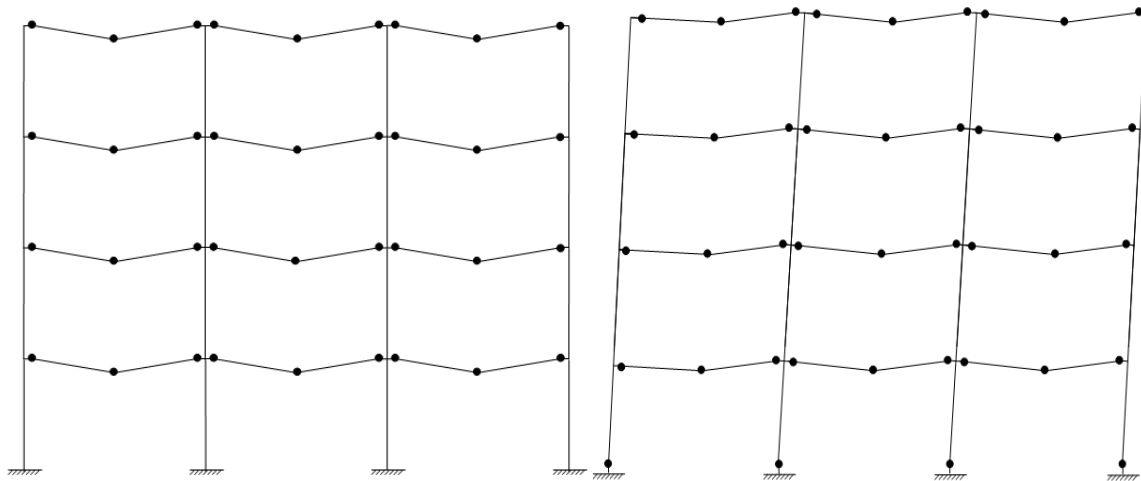
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

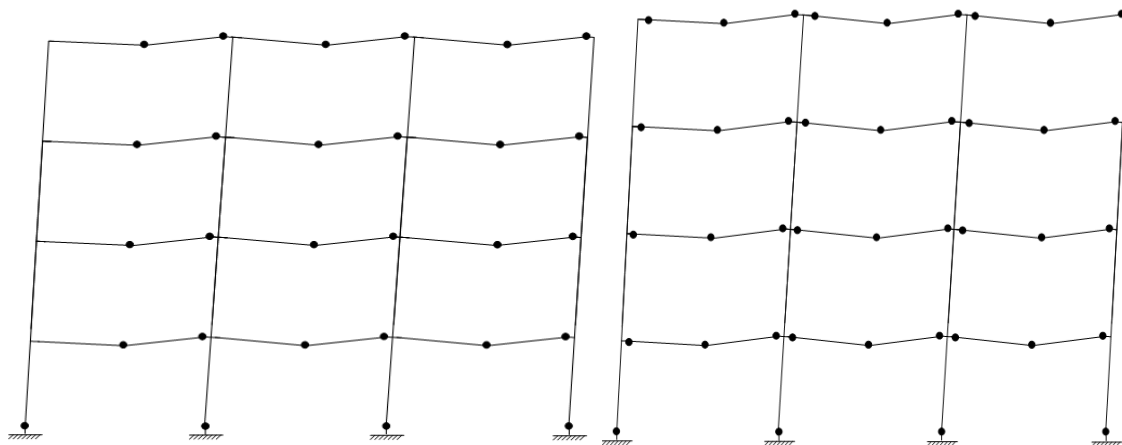
$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 292 \text{ kN.m}$



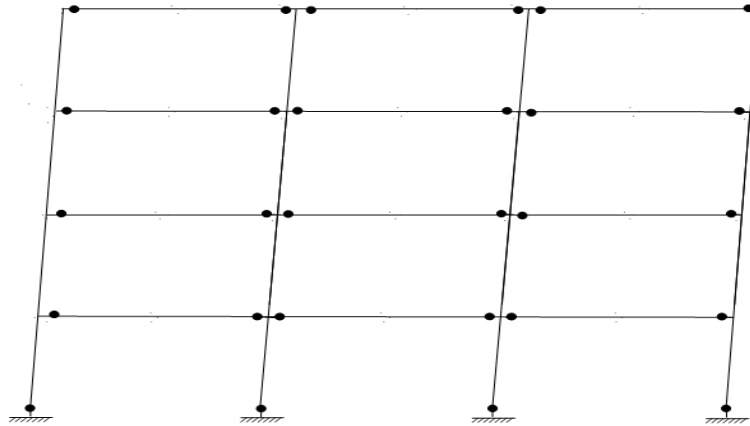
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 1.438$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.438$



c- mécanisme de ruine pour $0.389 \leq \alpha \leq 1.438$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.389$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.389$

Figure 4.25: Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de A_s min.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 1.533$ en BOA , et de $\alpha \geq 1.438$ en BDSA , les valeurs des charges concentrées verticales, V, sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H, les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui des figures (4-24-a). (4-25-a).
- Pour les valeurs de $\alpha = 1.533$ et $\alpha = 0.399$ en BOA , et de $\alpha = 1.438$ et $\alpha = 0.389$ en BDSA donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure4-24-b) et (figure4-24-d) et (figure4-25-b) et (figure4-25-d).
- Pour l'intervalle de $0.399 < \alpha < 1.533$ en BOA , et de $0.389 < \alpha < 1.438$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de Vingt-huit , et ce au niveau des

mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-24-c)et (figure4-25-c).

- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.399$ en BOA , et de $\alpha \leq 0.389$ en BDSA le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la Vingt-huit rotule est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-24-e) et (figure 4-25-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 1.533$ en BOA , et de $\alpha > 1.438$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.399 < \alpha \leq 1.533$ en BOA ,et de $0.389 < \alpha \leq 1.438$ en BDSA , La valeur de $\alpha = 1.533$ en BOA , et de $\alpha = 1.438$ BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeurs de $\alpha = 1.533$ et $\alpha = 0.399$ en BOA ,et de $\alpha = 1.438$ et $\alpha = 0.389$ en BDSA peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-un rotule .
- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.399$ en BOA , et de $\alpha < 0.389$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total sway mechanisms » sont observés

ii)- 2^{ème} cas : $A_s = 1 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

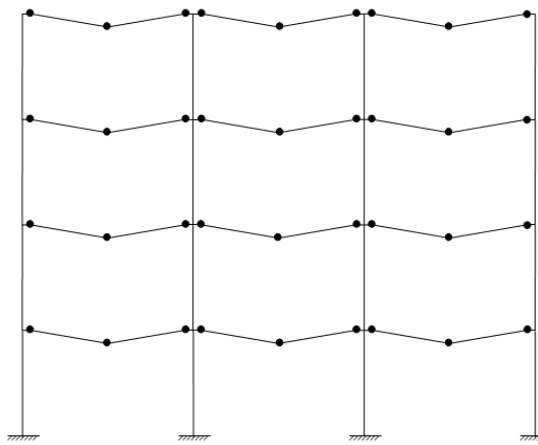
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

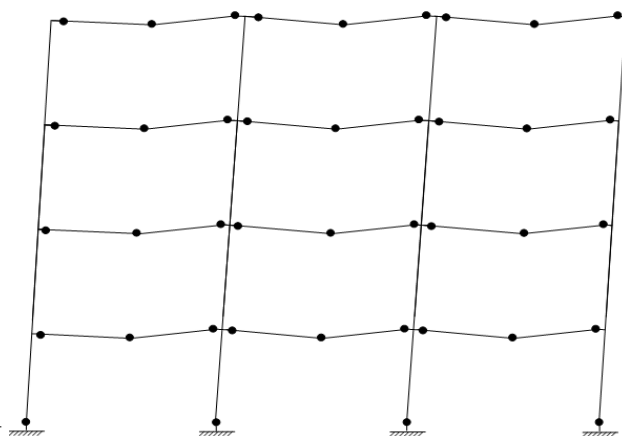
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

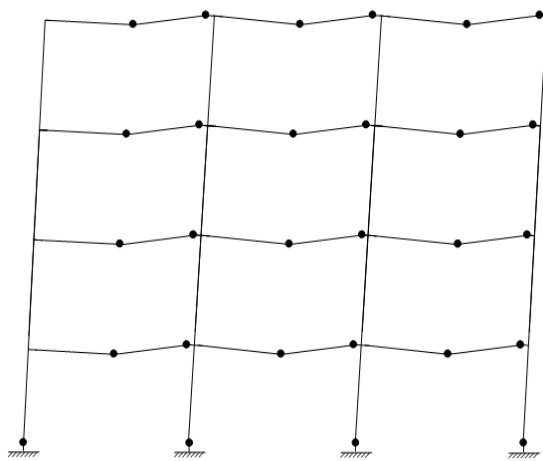
$M_{pc} = 280 \text{ kN.m}$



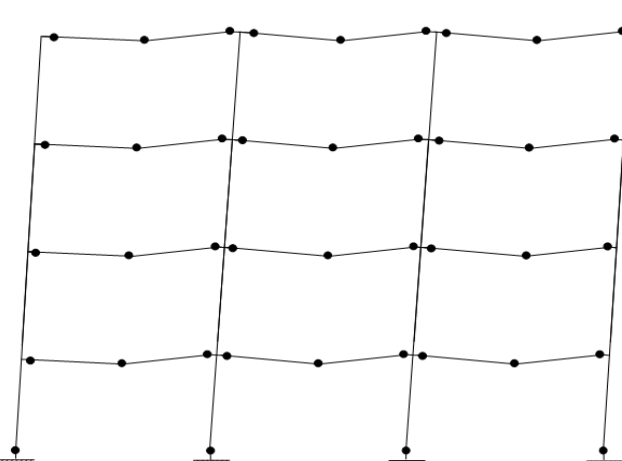
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 2.786$



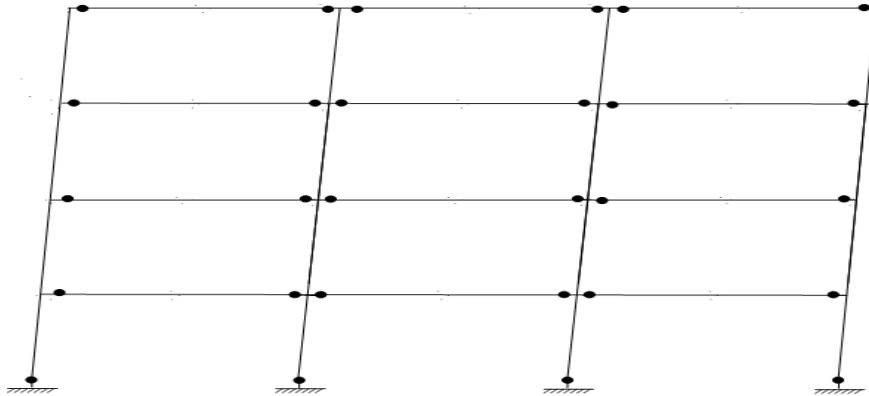
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 2.786$



d- mécanisme de ruine pour $0.521 \leq \alpha \leq 2.786$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.521$



f- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.521$

Figure 4.26 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 1 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

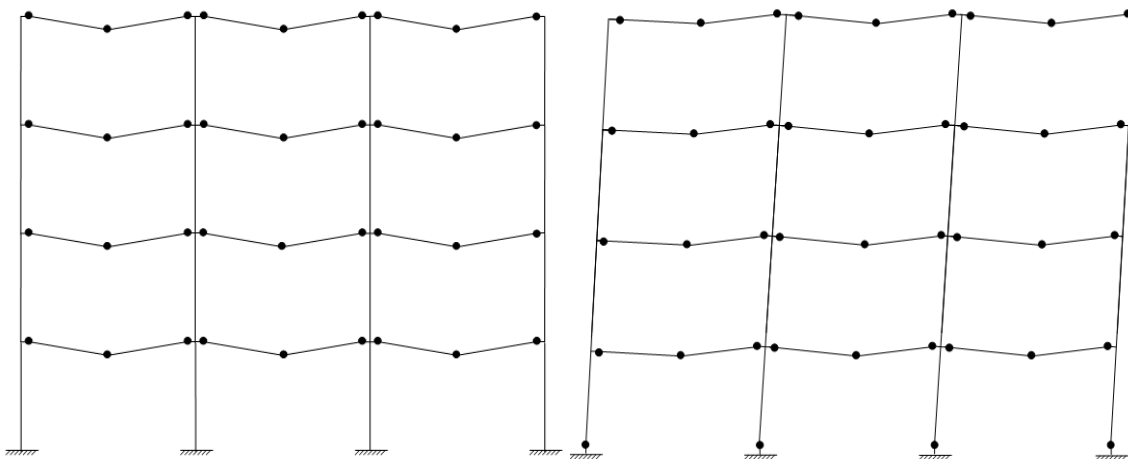
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

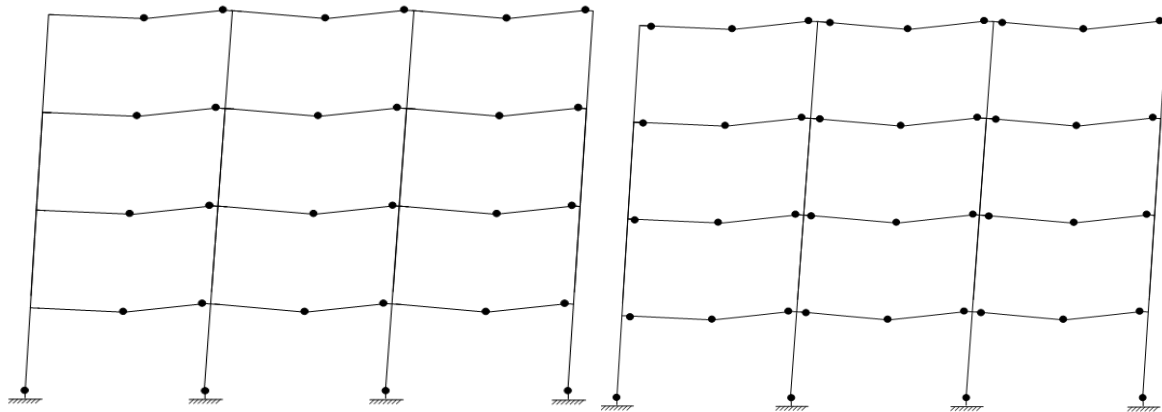
$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 298 \text{ kN.m}$



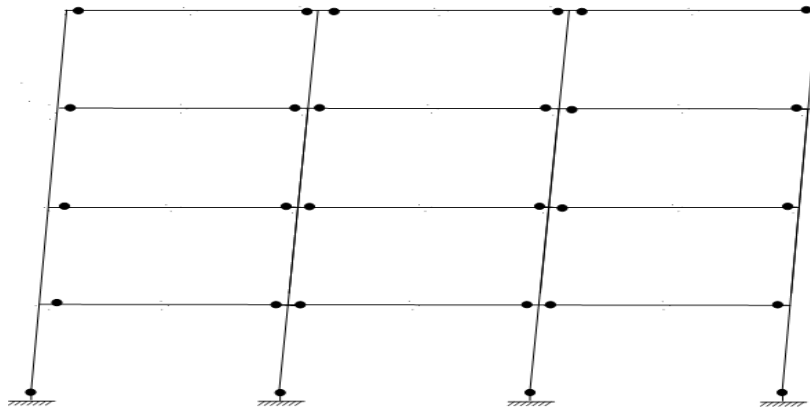
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 2.651$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 2.651$



c- mécanisme de ruine pour $0.512 \leq \alpha \leq 2.651$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.512$



e- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.512$

Figure 4.27 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 2.786$ en BOA , et de $\alpha \geq 2.651$ en BDSA, les valeurs des charges concentrées verticales V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui du figure (4-26-a) et (4-27-a).

- Pour les valeurs de $\alpha = 2.786$ et $\alpha = 0.521$ en BOA , et de $\alpha = 2.651$ et $\alpha = 0.512$ en BDSA donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure4-26-b) et (figure4-26-d) et (figure4-27-b) et (figure4-27-d).
- Pour l'intervalle de $0.521 < \alpha < 2.786$ en BOA , et de $0.512 < \alpha < 2.651$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de Vingt-huit , et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-26-c). (figure4-27-c).
- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.521$ en BOA , et de $\alpha \leq 0.512$ en BDSA le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la Vingt-huit rotule est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-26-e) et (figure 4-27-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 2.786$ en BOA , et de $\alpha > 2.651$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.521 < \alpha \leq 2.786$ en BOA , et de $0.512 < \alpha \leq 2.651$ en BDSA , La valeur de $\alpha = 2.786$ en BOA , et de $\alpha = 2.651$ en BDSA est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».

- les valeurs de $\alpha = 2.786$ et $\alpha = 0.521$ en BOA, et de $\alpha = 2.651$ et $\alpha = 0.512$ en BDSA peuvent être considérées comme valeurs frontières ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-un rotules.
- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.521$ en BOA, et de $\alpha < 0.512$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total sway mechanisms » sont observés

iii) - 3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

a)-Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

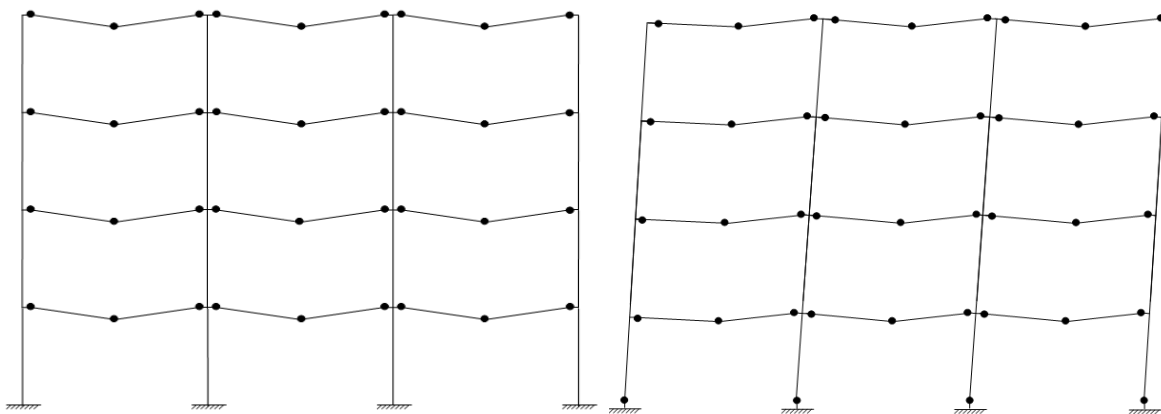
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

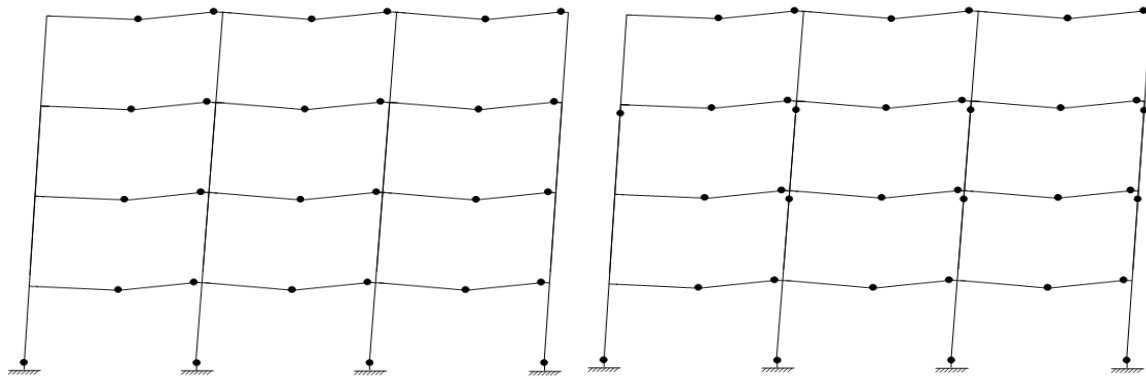
$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 311 \text{ kN.m}$



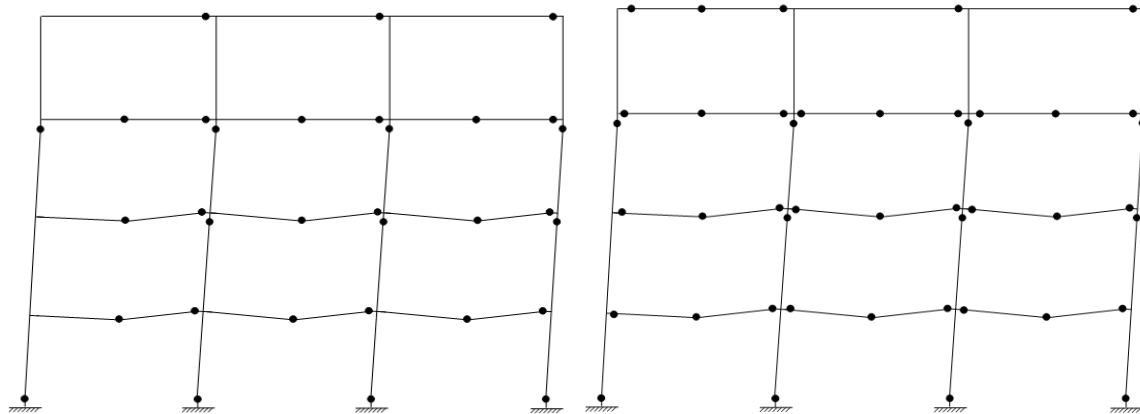
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.823$

b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 4.823$



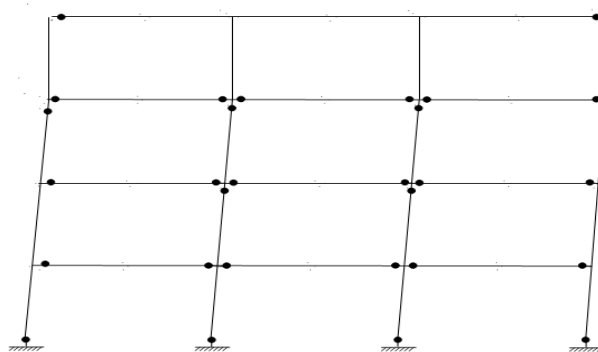
c- mécanisme de ruine pour $0.680 \leq \alpha \leq 4.823$

d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.680$



e- mécanisme de ruine pour $0.630 \leq \alpha \leq 0.680$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.630$



g- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.630$

Figure 4.28 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 2 %.

-Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 4.823$, une série de « beam mechanism » a lieu au niveau des poutres des quatre niveaux, ces mécanismes ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique de ces rotules (figure 4-28-a).
- Pour l'intervalle de $0.680 \leq \alpha \leq 4.823$ le nombre de rotules plastiques formées est de vingt huit, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism » peut être identifiée comme un « double combined mechanism » (figure 4-28-c).
- un « over collapse » (sur-ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total third storey sway mechanism » avec « double combined mechanism » a lieu pour la valeur de $\alpha = 0.680$; avec la formation de trente cinq rotules (figure 4-28-d).
- Pour l'intervalle $0.630 \leq \alpha \leq 0.680$ un « total lower and second storey combined mechanism » avec un « total third storey sway mechanism » se forme mais avec trente deux rotules. Pour toute valeur de α comprise entre 0.630 et 2.843 l'ordre de formation de rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , dans ce cas les neuf rotules formées considérées comme bloquées se développent au niveau des poutres du troisième et dernier étage (figure 4-28-e).
- pour la valeur de $\alpha = 0.630$; une combinaison de trois mécanismes élémentaires « total second storey sway mechanism » avec « total lower storey combined » et un « total third storey sway mechanism » a lieu, avec la formation de trente cinq rotules (figure 4-28-f).
- « total third storey storey sway mechanism » se forme avec la naissance de la vingt troisième rotule pour des valeurs de $\alpha < 0.630$; donc les charges horizontales sont prépondérantes (figure 4-28-g).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 4.823$ les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent des «beam mechanisms» (création de trois rotules) au niveau de chaque poutre.
- un « double combined mechanism » se produit pour $0.680 \leq \alpha \leq 4.823$; la frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism » est de $\alpha = 0.680$.
- une deuxième valeur frontière « tampon » de $\alpha = 0.680$ produit trente cinq rotules, les deux dernières rotules apparaissant simultanément l'une des deux participe à la formation du « double combined mechanism » et l'autre participe à la formation du «third storey sway mechanism», donc le mécanisme de ruine développé est une combinaison entre les deux mécanismes «second storey sway mechanism» et le mécanisme « lower storey combined and total combined mechanism ».
- Une combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » a lieu pour $0.630 \leq \alpha \leq 0.680$; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive, et un «right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage est observé.
- Une première valeur frontière « tampon » de $\alpha = 0.630$ produit trente cinq rotules, les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total second storey sway mechanism » et l'autre participe à la formation du « total third storey sway mechanism », donc le mécanisme de ruine développé est une combinaison entre trois mécanismes « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total lower storey combined mechanism » et le autre « total third storey sway mechanism » avec l'apparition de deux « right hand joint rotation mechanism » qui sont observés au niveau du deuxième et du troisième étage.

- Pour $\alpha < 0.630$ la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « first and second storey sway mechanism » sont observés. la déformabilité provoque quatre « joint rotation mechanism » au niveau du premier et du deuxième étage et des « left and right hand joint rotation mechanisms » au niveau du deuxième étage de se formée.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

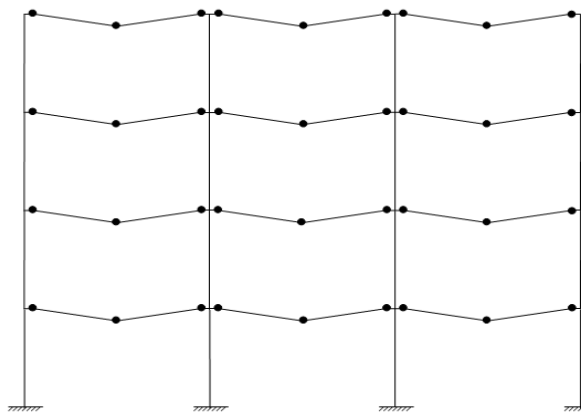
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

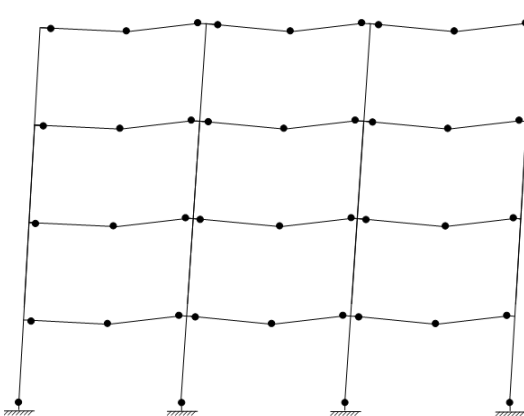
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

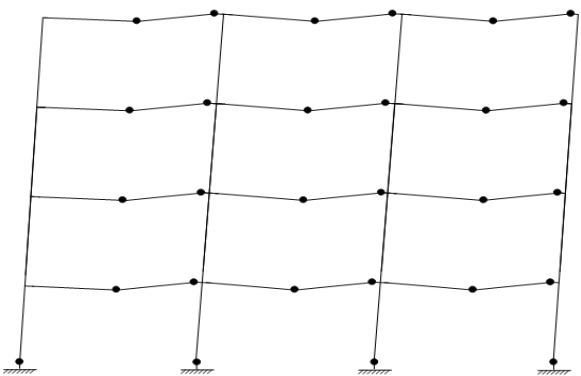
$M_{pc} = 332 \text{ kN.m}$



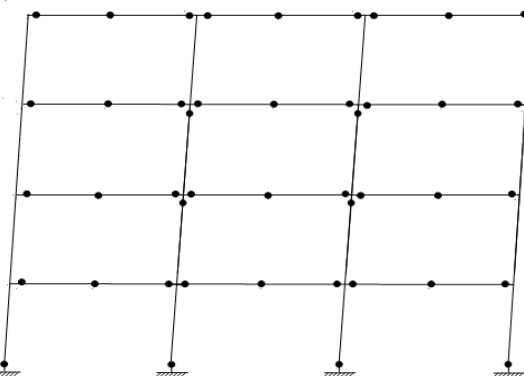
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 4.548$



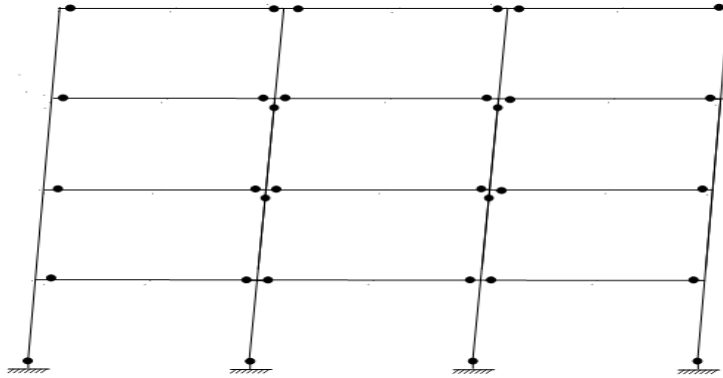
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 4.548$



c- mécanisme de ruine pour $0.610 \leq \alpha \leq 4.548$



d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.610$



e- mécanisme de ruine pour, $\alpha \leq 0.610$

Figure 4.29 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 2 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 4.548$, les valeurs des charges concentrées verticales, V , sont nettement supérieures aux charges concentrées horizontales, H , les poutres sont les éléments les plus fragilisés et le mécanisme de ruine du portique en question est constitué de séries de « beam mechanisms » au niveau des trois étages, ces dernières ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique à celui du figure (4-29-a).
- Pour les valeurs de $\alpha = 4.548$ et $\alpha = 0.610$ donne naissance à un « over collapse » (sur ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total sway mechanism » avec « total combined mechanism » cette valeur de α peut être considérée comme une valeur « tampon » ou une valeur frontière (figure4-29-b) et (figure4-29-d).
- Pour l'intervalle de $0.610 < \alpha < 4.548$ le nombre de rotules plastiques formées est de Vingt-huit , et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la nature du mécanisme de ruine observé est un « lower storey

combined mechanism » et un « total combined mechanism », ce mécanisme peut être identifié comme un « double combined mechanism ». la création d'une rotule supplémentaire n'est pas nécessaire et sa présence compliquerait la déformation. La similitude avec « sway + combined mechanism » d'un portique simple à une travée et un étage (« single storey single bay frame ») est évidente (figure4-26-c). (figure4-29-c).

- Pour des valeurs de $\alpha \leq 0.610$ le mécanisme élémentaire se forme avec la naissance de la Vingt-huit rotule est un « total sway mechanism ». Les charges horizontales étant prépondérantes (figure 4-29-e).

- Synthèse :

- pour des valeurs de $\alpha > 4.548$ les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent carrément les «beam mechanisms» au niveau de chaque poutre.
- un « lower storey combined mechanism » et un « total combined mechanism » a lieu pour $0.610 < \alpha \leq 4.548$, La valeur de $\alpha = 4.548$ est une valeur frontière entre les deux mécanismes de ruine « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism ».
- les valeurs de $\alpha = 4.548$ et $\alpha = 0.610$ peut être considérée comme valeur frontière ou une valeur « tampon » et d'ailleurs elle est la valeur unique pour laquelle se sont développées trente-et-un rotule .
- pour de faibles valeurs de α , $\alpha < 0.610$ en BOA , et de $\alpha < 0.610$ la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des «total sway mechanisms » sont observés

iv)- 4^{émé} cas $A_s = 3 \%$

a)-Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$:

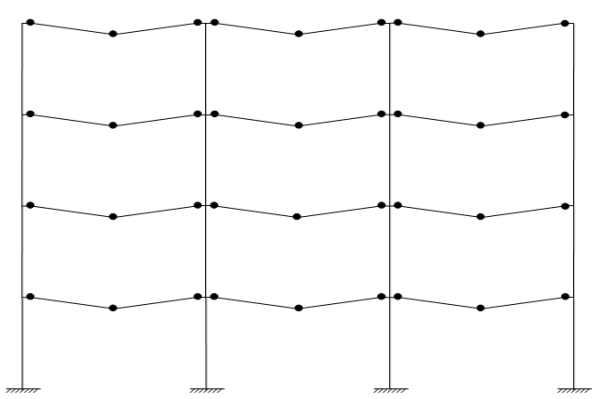
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

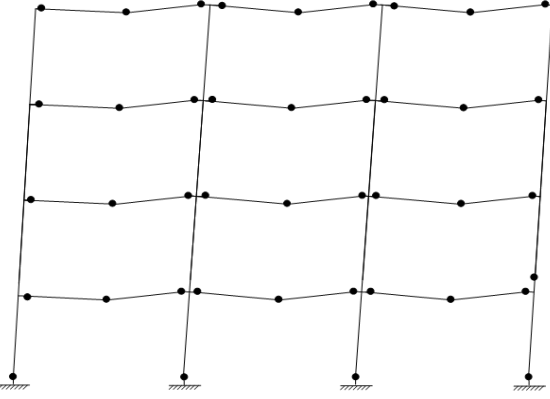
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$

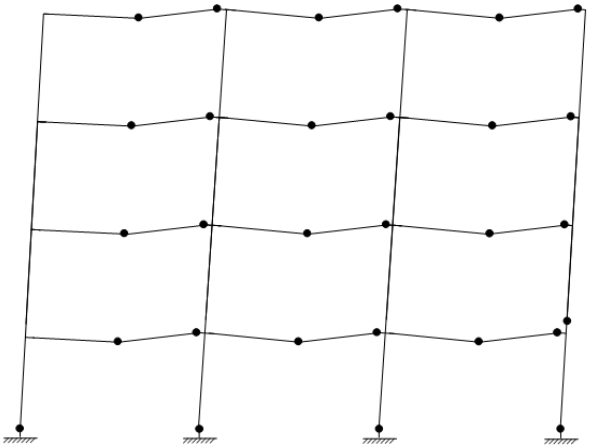
$M_{pc} = 343 \text{ kN.m}$



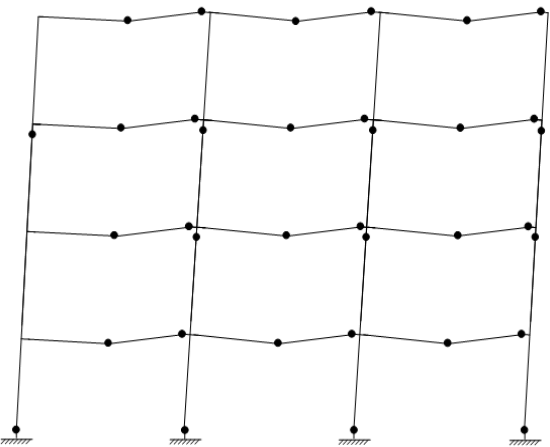
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 6.471$



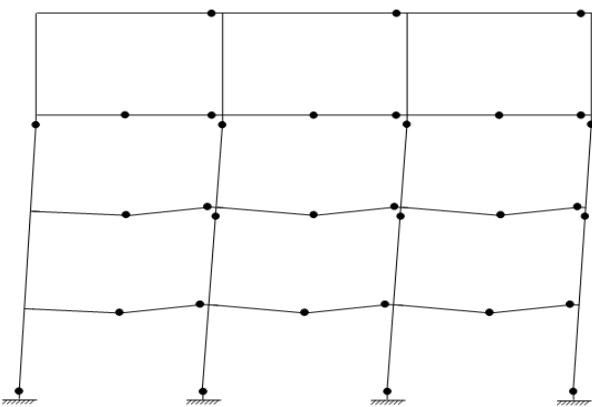
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 6.471$



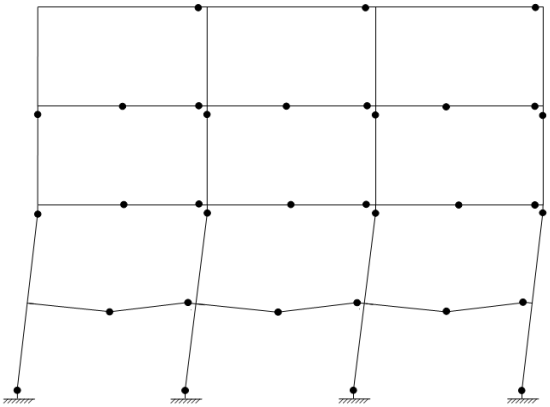
c- mécanisme de ruine pour $1.120 \leq \alpha \leq 6.471$



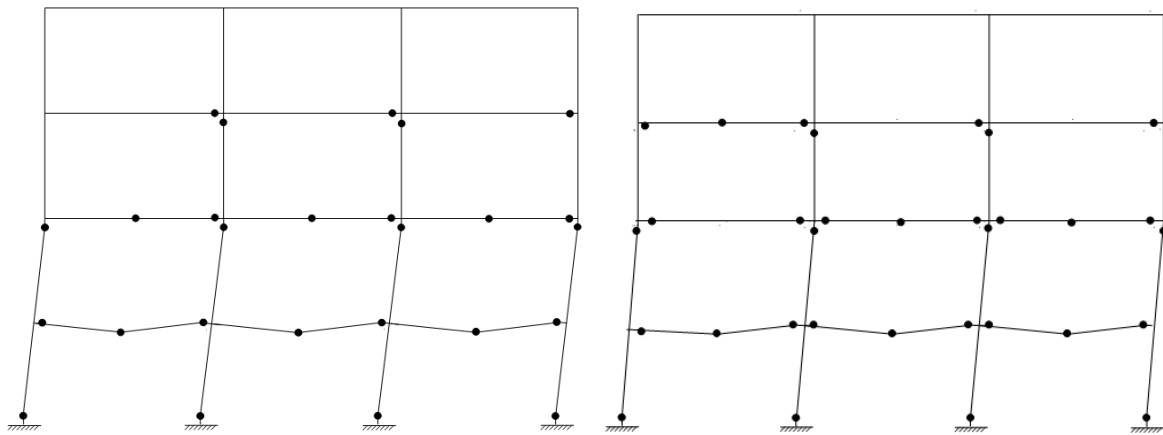
d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.120$



e- mécanisme de ruine pour $0.991 \leq \alpha \leq 1.120$

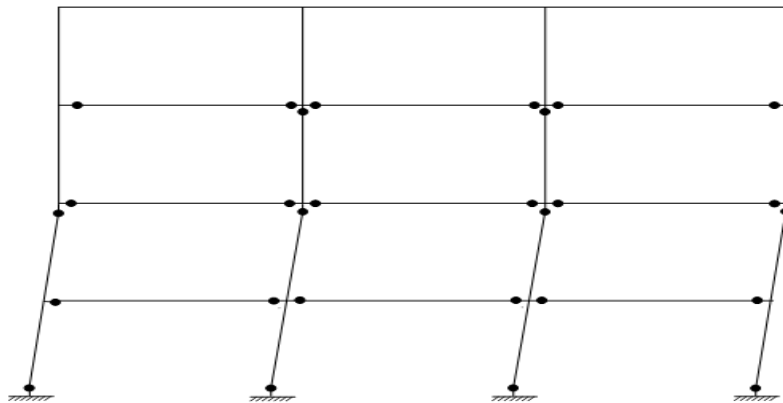


f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.991$



g- mécanisme de ruine pour $0.762 \leq \alpha \leq 0.991$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.762$



i- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.762$

Figure 4.30 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 3 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

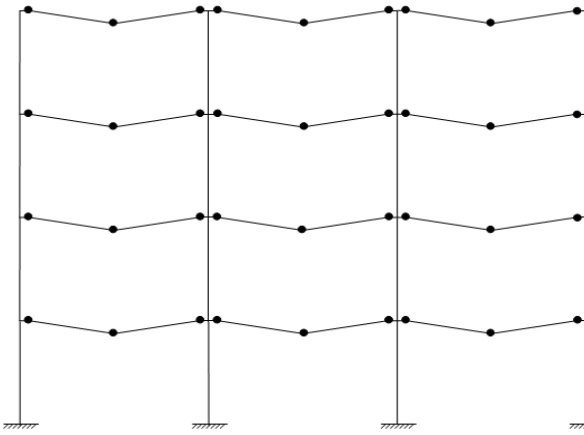
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

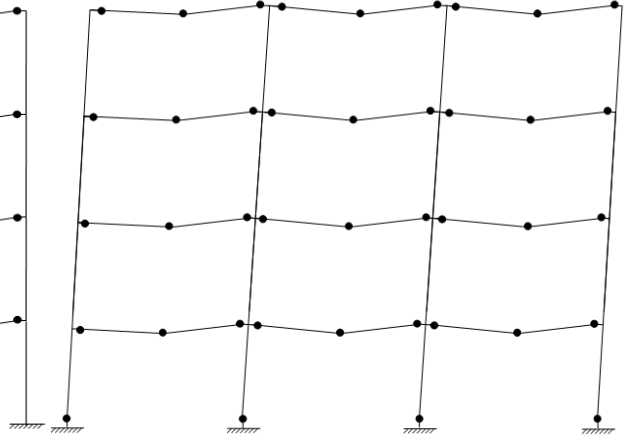
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

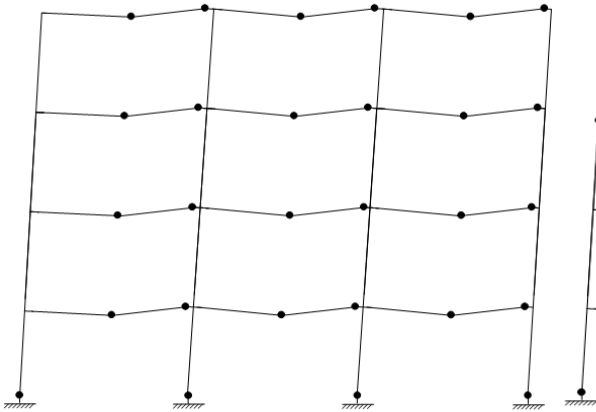
$M_{pc} = 366 \text{ kN.m}$



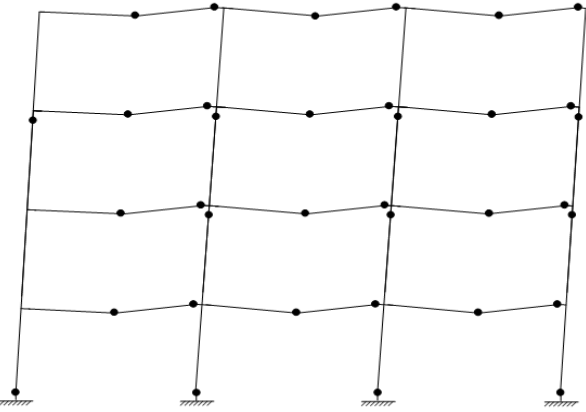
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 6.092$



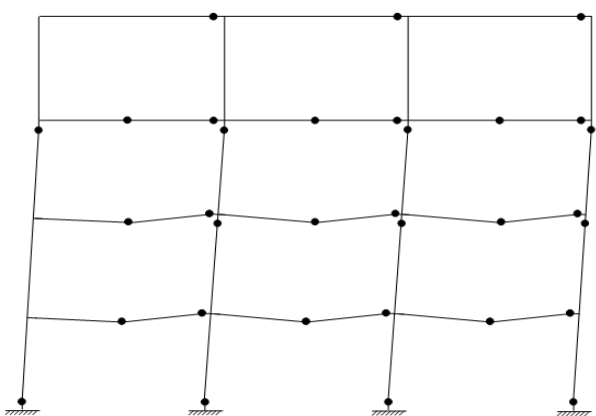
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 6.092$



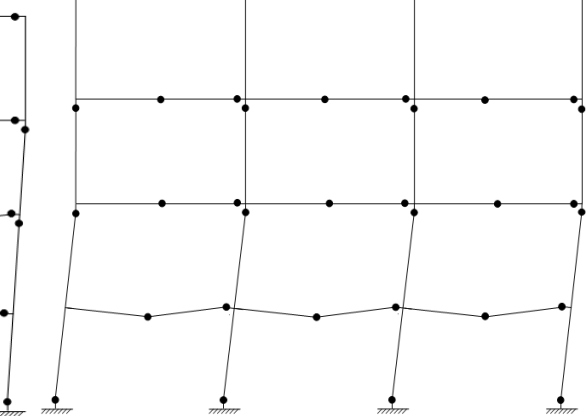
c- mécanisme de ruine pour $1.014 \leq \alpha \leq 6.092$



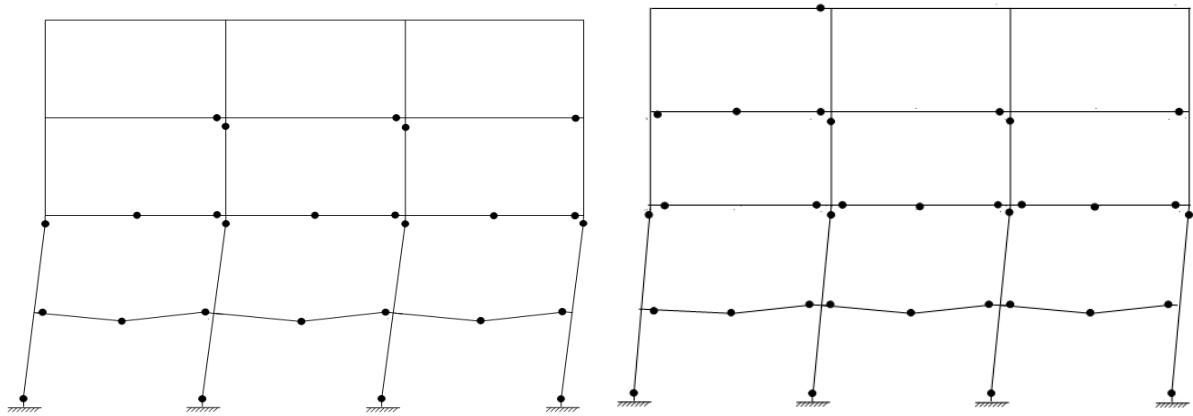
d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.014$



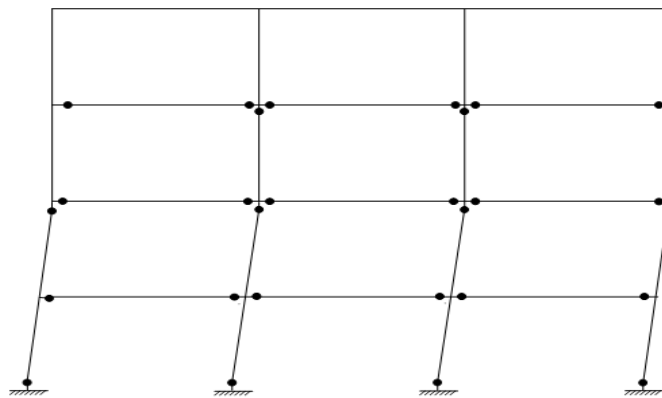
e- mécanisme de ruine pour $0.936 \leq \alpha \leq 1.014$



f- mécanisme de ruine pour sur ruine $\alpha = 0.936$



g- mécanisme de ruine pour $0.732 \leq \alpha \leq 0.936$ h- mécanisme de ruine pour sur ruine $\alpha = 0.732$



i- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.732$

Figure 4.31 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 6.092$ en BOA , et de $\alpha \geq 6.092$ en BDSA, une série de « beam mechanism » a lieu au niveau des poutres des quatre niveaux, ces mécanismes ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique de ces rotules (figure 4-30-a) et (figure 4-31-a).

- Pour l'intervalle de $1.120 \leq \alpha \leq 6.471$ en BOA , et de $1.014 \leq \alpha \leq 6.092$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt huit, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism » peut être identifiée comme un « double combined mechanism » (figure 4-30-c)et (figure 4-31-c).
- un « over collapse » (sur-ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total third storey sway mechanism » avec « double combined mechanism » a lieu pour la valeur de $\alpha = 1.120$ en BOA , et de $\alpha = 1.014$ en BDSA ; avec la formation de trente cinq rotules (figure 4-30-d)et (figure 4-31-d).
- Pour l'intervalle $0.991 \leq \alpha \leq 1.120$ en BOA , et de $0.936 \leq \alpha \leq 1.014$ en BDSA un « total first and second storey combined mechanism » avec un «total first and seconde storey sway mechanism » se forme mais avec trente deux rotules. Pour toute valeur de α comprise entre 0.991 et 1.120 en BOA , et de 0.936 et 1.014 en BDSA l'ordre de formation de rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , dans ce cas les neuf rotules formées considérées comme bloquées se développent au niveau des poutres du troisième et dernier étage (figure 4-30-e) et (figure 4-31-e).
- pour la valeur de $\alpha = 0.991$ en BOA , et de $\alpha = 0.936$ en BDSA ; une combinaison de trois mécanismes élémentaires « total second storey sway mechanism» avec « total lower storey combined» et un « total third storey sway mechanism » a lieu, avec la formation de trente cinq rotules (figure 4-30-f) et (figure 4-31-f).
- Pour l'intervalle $0.762 < \alpha \leq 0.991$ en BOA , et de $0.732 < \alpha \leq 0.936$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se forme mais avec vingt sept rotules. Pour toute valeur de α comprise entre 0.762 et 0.991 en BOA , et de 0.732 et 0.936 en BDSA l'ordre de formation des rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les onze rotules plastiques considérées comme bloquées se développent au niveau des poutres du deuxième et troisième étage (figure 4-30-g)et (figure 4-31-g).

- « total first and second storey sway mechanism » se forme avec la naissance de la vint troisième rotule pour des valeurs de $\alpha < 0.762$ en BOA , et de $\alpha < 0.732$ en BDSA ; donc les charges horizontales sont prépondérantes (figure 4-33-i) et (figure 4-31-i).

- Synthèse:

- pour des valeurs de $\alpha > 6.471$ en BOA , et de $\alpha > 6.092$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent des «beam mechanisms» (création de trois rotules) au niveau de chaque poutre.
- un « double combined mechanism » se produit pour $1.120 \leq \alpha \leq 6.471$ en BOA , et de $1.014 \leq \alpha \leq 6.092$ en BDSA; la frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism » est de $\alpha = 6.471$ en BOA , et de $\alpha = 6.092$ en BDSA.
- une deuxième valeur frontière « tampon » de $\alpha = 1.120$ en BOA, et de $\alpha = 1.014$ en BDSA produit trente cinq rotules, les deux dernières rotules apparaissant simultanément l'une des deux participe à la formation du « double combined mechanism » et l'autre participe à la formation du «third storey sway mechanism», donc le mécanisme de ruine développé est une combinaison entre les deux mécanismes «second storey sway mechanism» et le mécanisme « lower storey combined and total combined mechanism ».
- Une combinaison de « total first and second storey combined mechanism avec un « total first and second storey sway mechanism » a lieu pour $0.991 \leq \alpha \leq 1.120$ en BOA , et de $0.936 \leq \alpha \leq 1.014$ en BDSA ; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive, et un «right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage est observé.

- Une troisième valeur frontière « tampon » de $\alpha = 0.991$ en BOA , et de $\alpha = 0.936$ en BDSA produit trente cinq rotules, les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total second storey sway mechanism » et l'autre participe à la formation du « total third storey sway mechanism », donc le mécanisme de ruine développé est une combinaison entre trois mécanismes « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total lower storey combined mechanism » et le autre « total third storey sway mechanism » avec l'apparition de deux « right hand joint rotation mechanism» qui sont observés au niveau du deuxième et du troisième étage.
- Une combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » a lieu pour $0.762 < \alpha \leq 0.991$ en BOA , et de $0.732 < \alpha \leq 0.936$ en BDSA ; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive, et un «right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage est observé.
- Pour $\alpha < 0.762$ en BOA , et de $\alpha < 0.732$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total first and second storey sway mechanism » sont observés. la déformabilité provoque quatre «joint rotation mechanism» au niveau du premier et du deuxième étage et des «left and right hand joint rotation mechanisms» au niveau du deuxième étage de se formée.

v)- 5^{ème} cas : $A_s = 4 \%$

a)- Béton ordinaire armée :

$k_1 = 0.459$

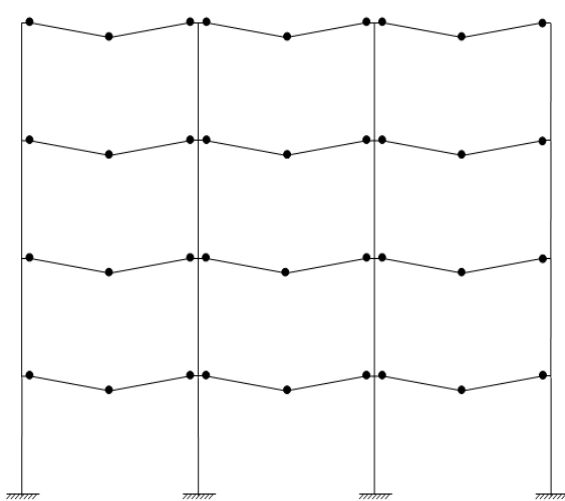
$k_2 = 0.416$

$\epsilon_{cu} = 3500$

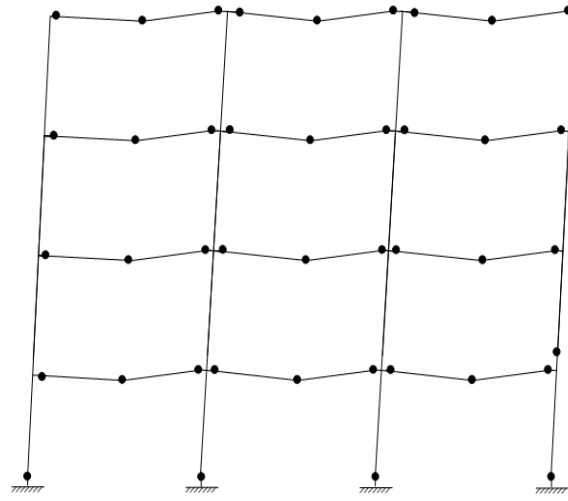
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$

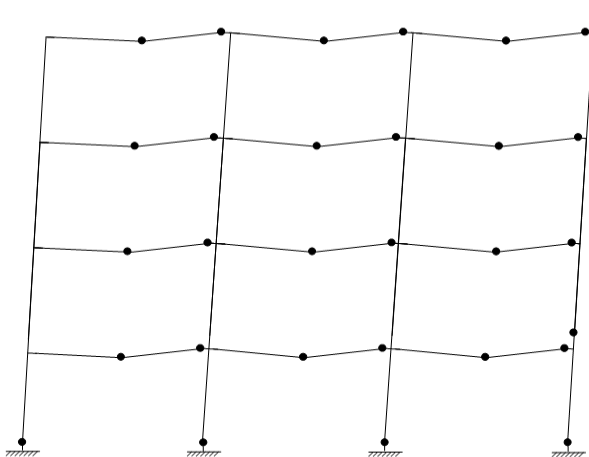
$M_{pc} = 377 \text{ kN.m}$



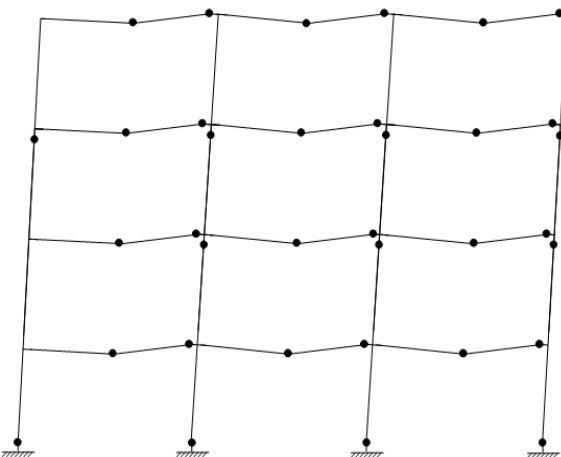
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 7.798$



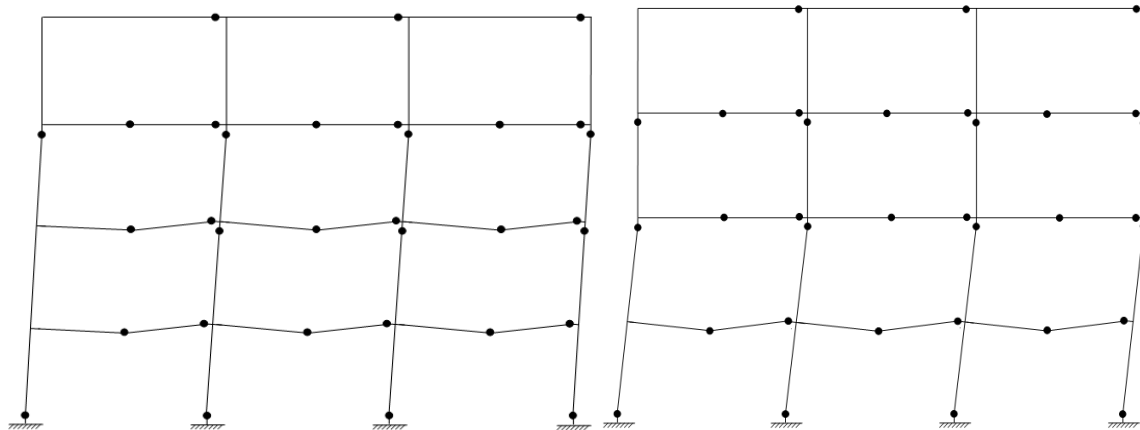
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 7.798$



c- mécanisme de ruine pour $1.468 \leq \alpha \leq 7.798$

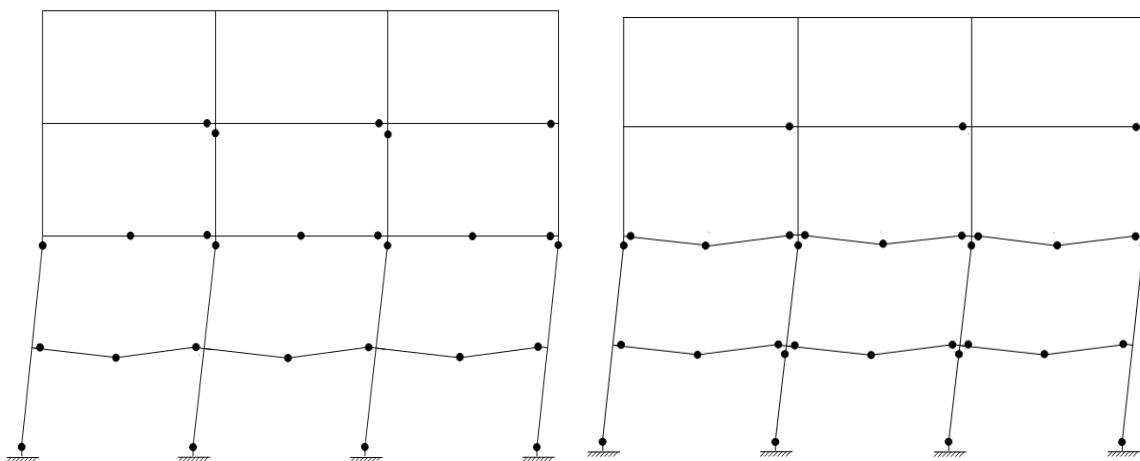


d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.468$



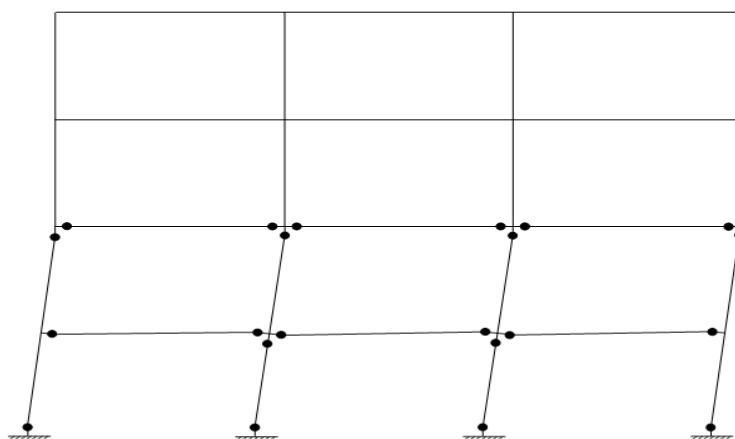
e- mécanisme de ruine pour $1.283 \leq \alpha \leq 1.468$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.283$



g- mécanisme de ruine pour $0.861 \leq \alpha \leq 1.283$

h- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.861$



i- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.861$

Figure 4.32 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 4 %.

b)-Béton de sable armée :

$k_1 = 0.536$

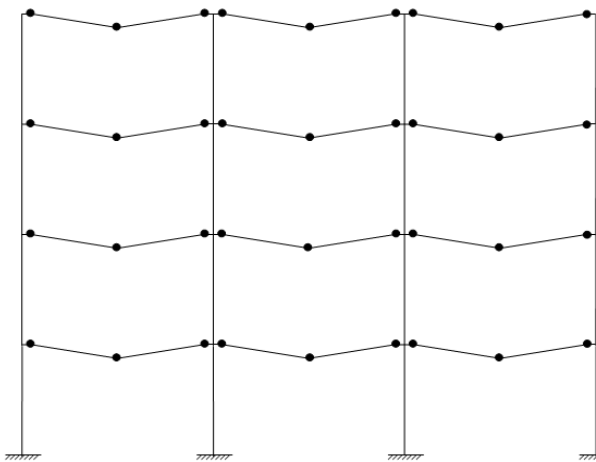
$k_2 = 0.412$

$\epsilon_{cu} = 5000$

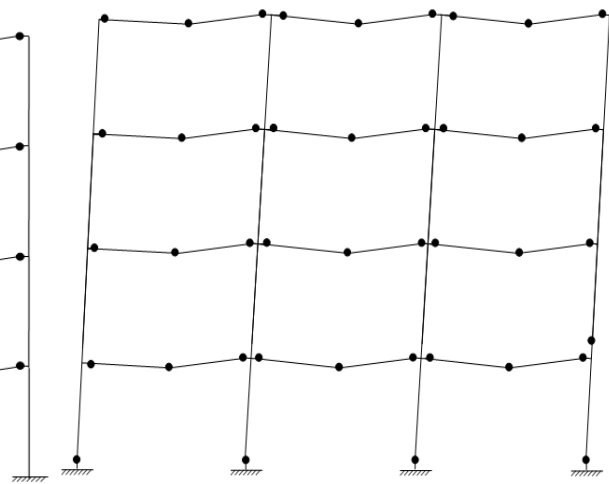
$f_{cu} = 30 \text{ Mpa}$

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

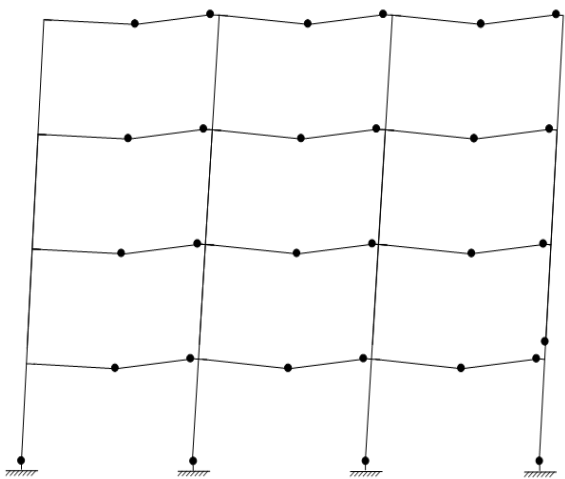
$M_{pc} = 402 \text{ kN.m}$



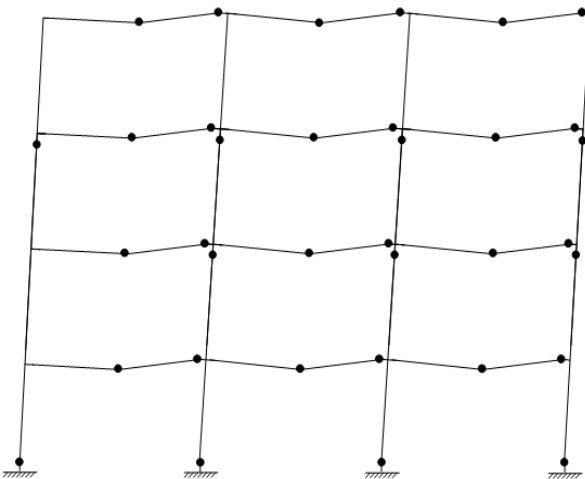
a- mécanisme de ruine pour $\alpha > 7.337$



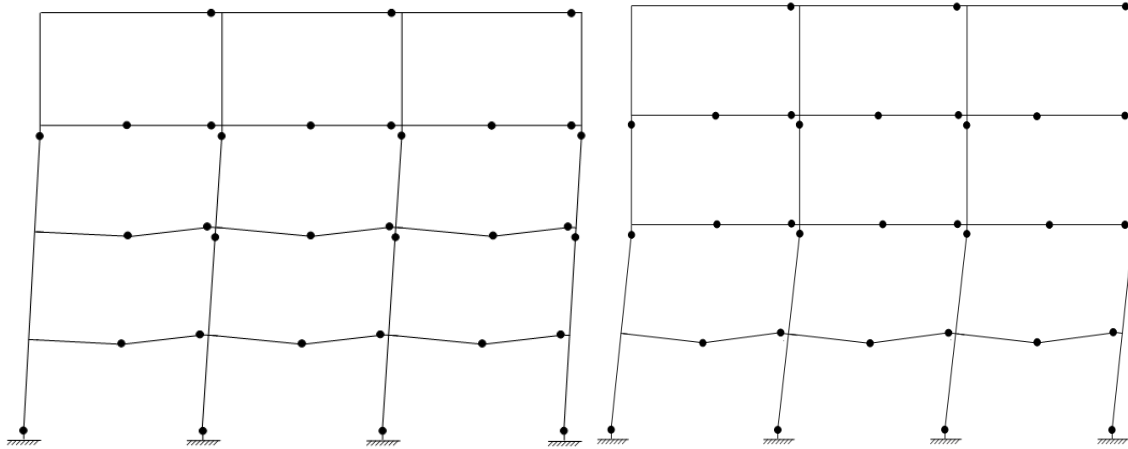
b- mécanisme de ruine pour $\alpha = 7.337$



c- mécanisme de ruine pour $1.346 \leq \alpha \leq 7.337$

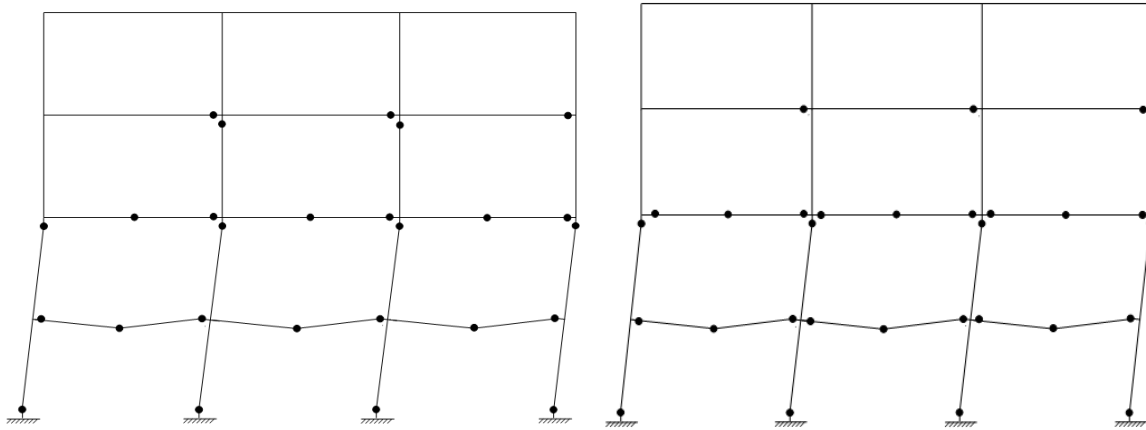


d- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.346$



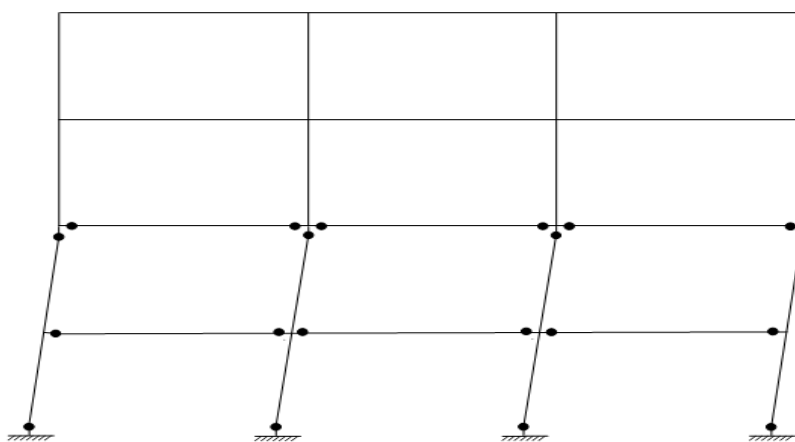
e- mécanisme de ruine pour $1.168 \leq \alpha \leq 1.346$

f- mécanisme de ruine pour $\alpha = 1.168$



g- mécanisme de ruine pour $0.828 \leq \alpha \leq 1.168$

h- mécanisme de ruine pour $\alpha = 0.828$



i- mécanisme de ruine pour $\alpha \leq 0.828$

Figure 4.33 : Les différents types de mécanismes de ruine développés en fonction de α pour le P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 4 %.

- Principales Constatations :

- Pour les valeurs de $\alpha \geq 7.798$ en BOA , et de $\alpha \geq 7.337$ en BDSA, une série de « beam mechanism » a lieu au niveau des poutres des quatre niveaux, ces mécanismes ont lieu suite à la formation de trente six rotules plastiques au niveau de sections critiques des poutres avec un ordre de formation identique de ces rotules (figure 4-32-a) et (figure 4-33-a).
- Pour l'intervalle de $1.468 \leq \alpha \leq 7.798$ en BOA , et de $1.346 \leq \alpha \leq 7.337$ en BDSA le nombre de rotules plastiques formées est de vingt huit, et ce au niveau des mêmes sections critiques et toujours dans le même ordre. la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism » peut être identifiée comme un « double combined mechanism » (figure 4-32-c) et (figure 4-33-c).
- un « over collapse » (sur-ruine) où deux mécanismes ont lieu simultanément « total third storey sway mechanism » avec « double combined mechanism » a lieu pour la valeur de $\alpha = 1.468$ en BOA , et de $\alpha = 1.346$ en BDSA ; avec la formation de trente cinq rotules (figure 4-32-d) et (figure 4-33-d).
- Pour l'intervalle $1.283 \leq \alpha \leq 1.468$ en BOA , et de $1.168 \leq \alpha \leq 1.346$ en BDSA un « total first and second storey combined mechanism » avec un « total first and seconde storey sway mechanism » se forme mais avec trente deux rotules. Pour toute valeur de α comprise entre 1.283 et 1.468 en BOA , et de 1.168 et 1.346 en BDSA l'ordre de formation de rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , dans ce cas les neuf rotules formées considérées comme bloquées se développent au niveau des poutres du troisième et dernier étage (figure 4-32-e) et (figure 4-33-e).

- pour la valeur de $\alpha = 1.283$ en BOA , et de $\alpha = 10.168$ en BDSA ; une combinaison de trois mécanismes élémentaires « total second storey sway mechanism » avec « total lower storey combined » et un « total third storey sway mechanism » a lieu, avec la formation de trente cinq rotules (figure 4-32-f) et (figure 4-33-f).
- Pour l'intervalle $0.861 < \alpha \leq 1.283$ en BOA , et de $0.828 < \alpha \leq 1.168$ en BDSA un « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » se forme mais avec vingt sept rotules. Pour toute valeur de α comprise entre 0.861 et 1.283 en BOA , et de 0.828 et 1.168 en BDSA l'ordre de formation des rotules plastiques est proportionnel avec la valeur de α , les onze rotules plastiques considérées comme bloquées se développent au niveau des poutres du deuxième et troisième étage (figure 4-32-g) et (figure 4-33-g).
- « total first and second storey sway mechanism » se forme avec la naissance de la vingt troisième rotule pour des valeurs de $\alpha < 0.861$ en BOA , et de $\alpha < 0.828$ en BDSA ; donc les charges horizontales sont prépondérantes (figure 4-32-i) et (figure 4-33-i).

- Synthèse:

- pour des valeurs de $\alpha > 7.798$ en BOA , et de $\alpha > 7.337$ en BDSA les charges verticales sont prépondérantes, et elles produisent des « beam mechanisms » (création de trois rotules) au niveau de chaque poutre.
- un « double combined mechanism » se produit pour $1.468 \leq \alpha \leq 7.798$ en BOA , et de $1.346 \leq \alpha \leq 7.337$ en BDSA; la frontière entre les deux mécanismes de ruine « top, second and lower beam mechanism » et la combinaison de « lower storey combined mechanism » et « total combined mechanism » est de $\alpha = 7.798$ en BOA , et de $\alpha = 7.337$ en BDSA.
- une deuxième valeur frontière « tampon » de $\alpha = 1.468$ en BOA, et de $\alpha = 1.346$ en BDSA produit trente cinq rotules, les deux dernières rotules apparaissant simultanément l'une des deux participe à la formation du « double combined

mechanism » et l'autre participe à la formation du «third storey sway mechanism», donc le mécanisme de ruine développé est une combinaison entre les deux mécanismes «second storey sway mechanism» et le mécanisme « lower storey combined and total combined mechanism ».

- Une combinaison de « total first and second storey combined mechanism avec un « total first and second storey sway mechanism » a lieu pour $1.283 \leq \alpha \leq 1.468$ en BOA , et de $1.168 \leq \alpha \leq 1.346$ en BDSA ; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive, et un «right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage est observé.
- Une troisième valeur frontière « tampon » de $\alpha = 1.283$ en BOA , et de $\alpha = 1.168$ en BDSA produit trente cinq rotules, les deux dernières rotules apparaissant simultanément, l'une des deux participe à la formation du « total second storey sway mechanism » et l'autre participe à la formation du « total third storey sway mechanism », donc le mécanisme de ruine développé est une combinaison entre trois mécanismes « total second storey sway mechanism » et le mécanisme « total lower storey combined mechanism » et le autre « total third storey sway mechanism » avec l'apparition de deux « right hand joint rotation mechanism» qui sont observés au niveau du deuxième et du troisième étage.
- Une combinaison de « total lower storey combined mechanism » avec un « total second storey sway mechanism » a lieu pour $0.861 < \alpha \leq 1.283$ en BOA , et de $0.828 < \alpha \leq 1.168$ en BDSA ; la dernière rotule prend naissance au niveau du poteau gauche de rive, et un «right hand joint rotation mechanism» au niveau du deuxième étage est observé.
- Pour $\alpha < 0.861$ en BOA , et de $\alpha < 0.828$ en BDSA la charge concentrée horizontale, H, est prépondérante et des « total first and second storey sway mechanism » sont observés. la déformabilité provoque quatre «joint rotation

mechanism» au niveau du premier et du deuxième étage et des «left and right hand joint rotation mechanisms» au niveau du deuxième étage de se formée.

4-5-3- Synthèse des synthèses :

Après l'analyse des trois portiques non endommagés pour la détermination des vrais mécanismes de ruine par la méthode « pushover » il s'est avéré que le paramètre le plus influent est le rapport $\alpha = V/H$. il a un effet direct sur les mécanismes obtenus et les charges de ruine. L'étude a révélé trois principaux intervalles de ' α ' où les principaux changements sont constatés, l'étendue de ces intervalles est directement influencée par la forme en élévation du portique (effet du rajout d'un niveau ou d'une travée).

-Pour de faibles valeurs de ' α ' ,la prépondérance est aux « sway mechanisms » localisés ou totaux.

-Pour de grandes valeurs de ' α ' ,la prépondérance est aux « beam mechanisms » localisés ou totaux.

-Pour des valeurs intermédiaires de α où les mécanismes prépondérants sont des « combined mechanism » avec des combinaisons de quelques mécanismes élémentaires y compris des « joint rotation mechanism ».cette zone intermédiaire a été trouvée être influencée par le nombre de niveaux et par celui des travées.

-L'obtention de valeurs tampons intermédiaires a nécessité un travail méticuleux .

4-6 Construction des diagrammes d'interaction :

4-6-1 Introduction :

Il ressort de ce qui a été réalisé dans les chapitres (3 et 4) que les paramètres les plus influents sont les rapports $\alpha = V/H$ et le changement du nombre de niveau et nombre de travées , et le changement de pourcentage d'armature. Ces paramètres influent directement sur les valeurs des charges causant la ruine et aussi sur la nature des mécanismes de ruine identifiés.. Dans le présent chapitre, il a été jugé utile d'opter pour une représentation graphique pour mettre en exergue les effets du paramètre le plus influent à savoir, α , et ce

pour le changement de pourcentage d'armateur en relation avec le changement du nombre de niveaux ou de travées.

L'utilisation de la méthode non linéaire « pushover » a permis l'étude et l'analyse des trois portiques témoins retenus et ce pour large variation du rapport $\alpha = V/H$. cette analyse a permis l'identification des valeurs de α pour les quelles s'opère le changement des mécanismes de ruine.

4-6-2 -Principes Généraux De Construction

Dés qu'il y'a plus d'une variable (contrainte, effort, moment ...etc.) qui influent sur le comportement ou la rupture d'un élément de structure ou d'une structure entière, il y'a nécessité absolue de recourir à une courbe reliant les deux ou trois variables qui interagissent. Ceci étant le cas pour la construction des cercles de Mohr reliant les contraintes normales et tangentielles, les diagrammes d'interaction en flexion composée reliant les efforts de compression aux moments fléchissants dans un plan donné, les diagrammes d'interaction en flexion déviée reliant les efforts de compression aux deux moments agissants dans deux plans perpendiculaires ou les diagrammes mettant en relief les critères retenus en analyse plastique à savoir les critères de Von Mises et Tresca.

Pour le cas présent, les variables en question sont les charges horizontales et les charges verticales qui ne sont pas complètement indépendantes mais sont prises, pour des soucis de simplicité, comme étant proportionnelles. Leurs interaction et en fonction de α agit directement sur la nature des mécanismes de ruine développés, et cette nature est mieux explicitée graphiquement.

4-6-3- Représentation graphique :

4-6-3-1 Introduction :

La représentation graphique de l'interaction (V-H) a deux possibilités pour le choix du système de coordonnées le premier est de prendre directement λH en abscisse et λV en ordonnée et le second est d'opter pour un système de coordonnées adimensionnelles à savoir Hh/M_{pc} en abscisse et VI/M_{pb} en ordonnée. Ce dernier système est praticable pour discerner les effets du changement de l'ensemble des paramètres (H , h , V , l , M_{pb} et M_{pc}) pour de différentes valeurs.

4-6-3-2 Développement graphique

Le développement concerne l'ensemble des portiques testés. Le premier est de trois niveaux et trois travées, le deuxième est de trois niveaux et quatre travées et le dernier est de quatre niveaux et trois travées, Pour diverses valeur de pourcentage d'armateur, les graphes sont représentés sur les figures (4-34) à (4-48)

4-6-3-3 Discussion des résultats

Le développement graphique a été réalisé pour des valeurs de α et ce Pour diverses valeur de pourcentage d'armateur, les graphes sont représentés dans les figures (4-34) à (4-48) pour chacun des trois portiques.

Il ressort de la construction des trois diagrammes d'interaction ce qui suit :

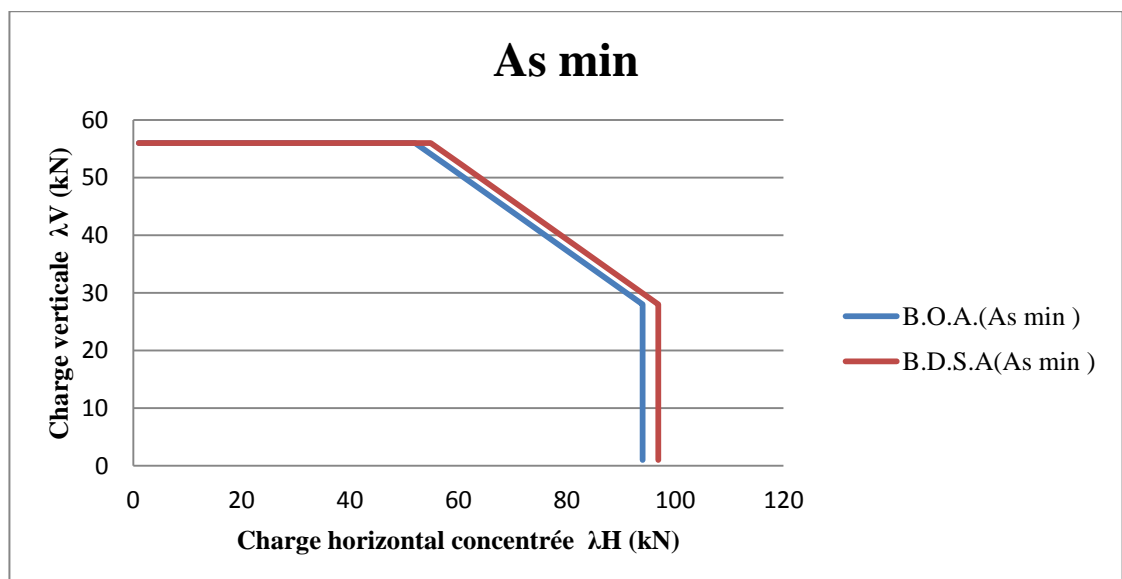


Figure 4 -34 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : :cas du P 3N 3T avec le taux d'armature de As min

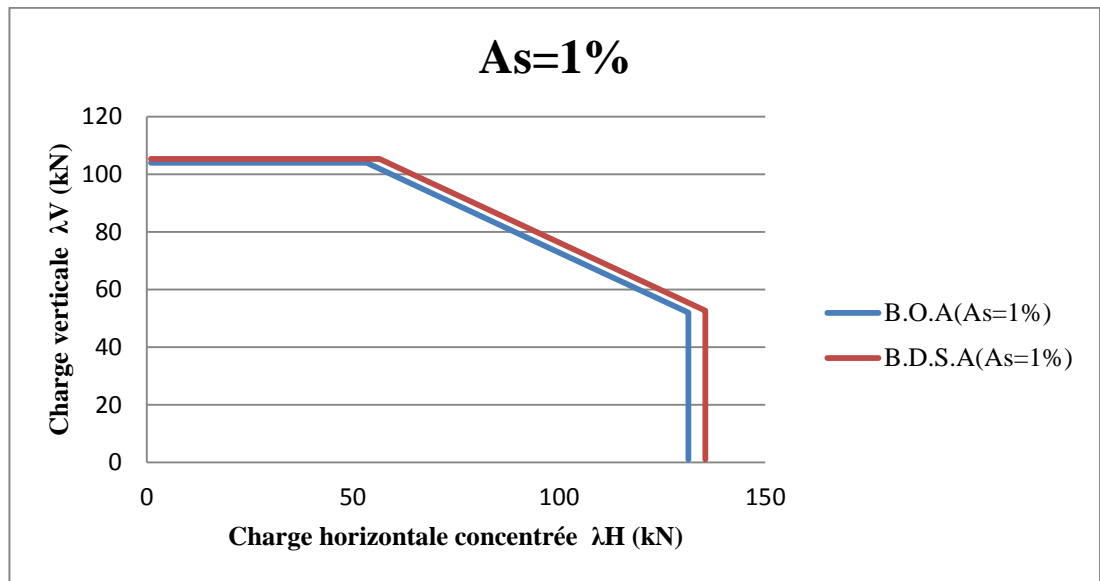


Figure 4.35 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 3T avec le taux d'armature de 1 %.

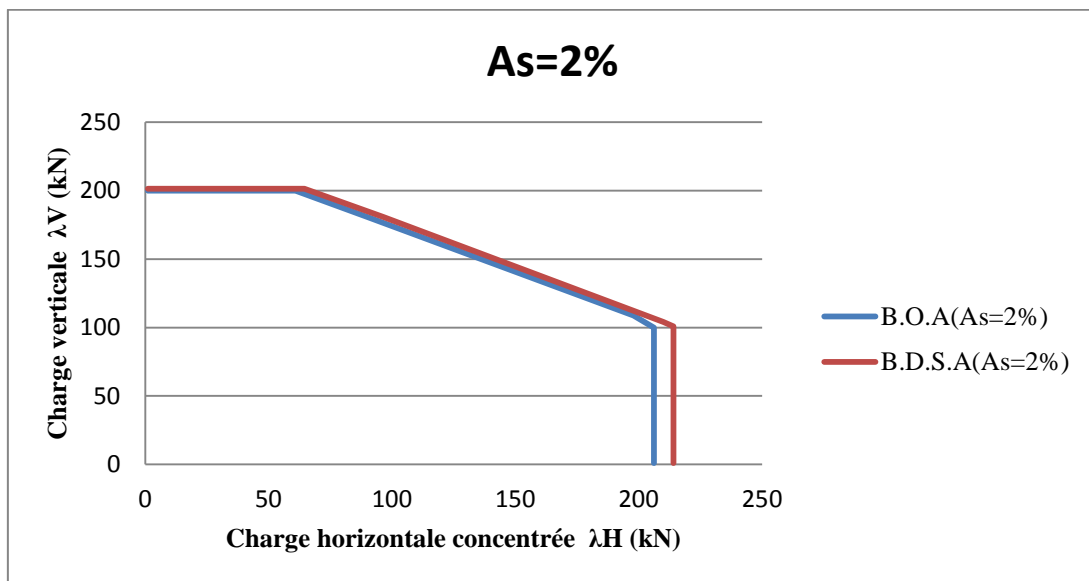


Figure 4.36 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 3T avec le taux d'armature de 2 %.

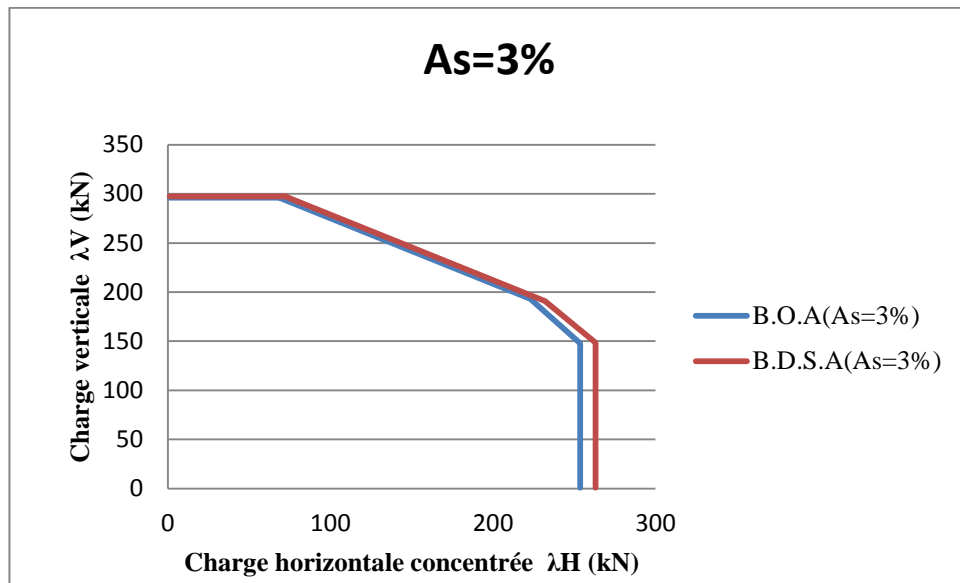


Figure 4.37 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 3T avec le taux d'armature de 3 %.

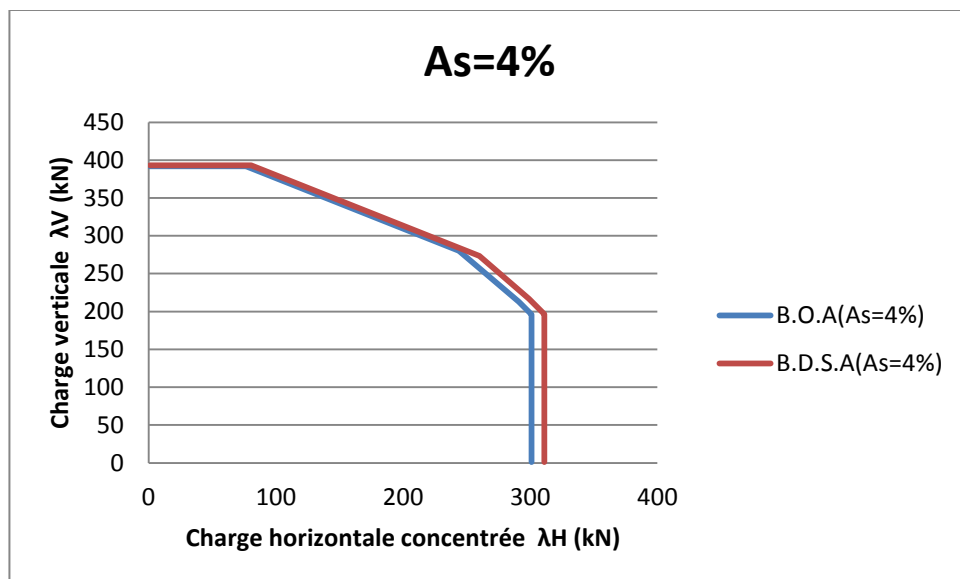


Figure 4.38 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 3T avec le taux d'armature de 4 %.

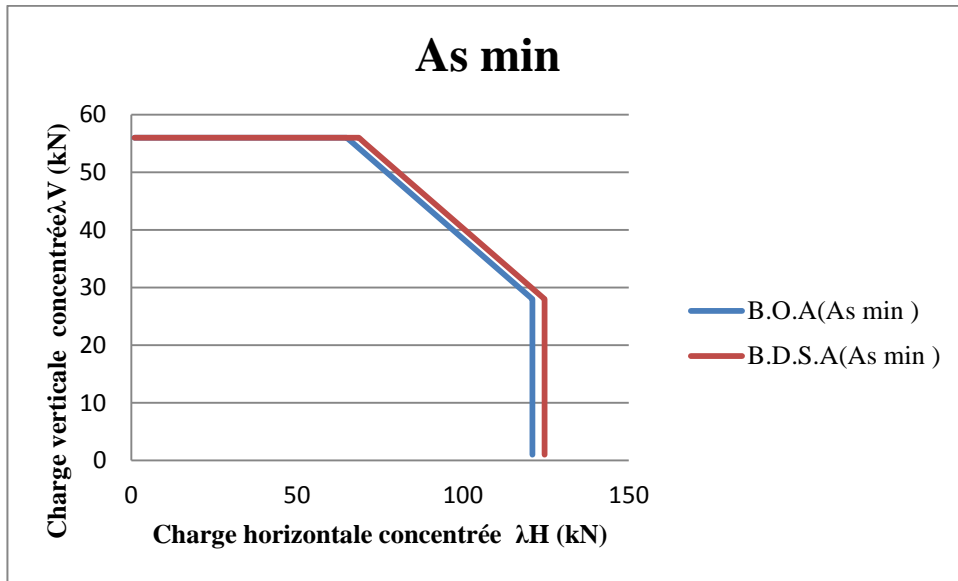


Figure 4.39 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T avec le taux d'armature de As min .

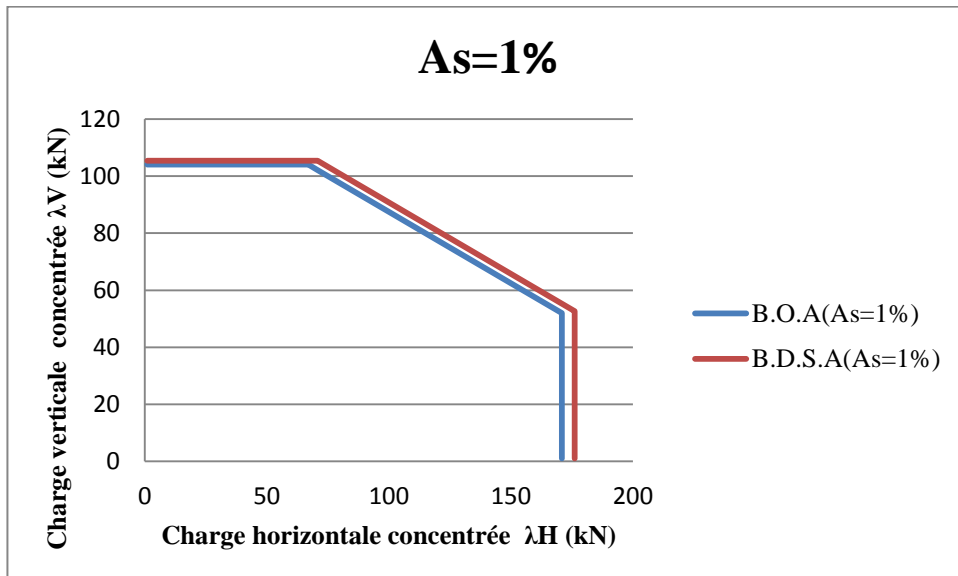


Figure 4.40 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T avec le taux d'armature de 1 %.

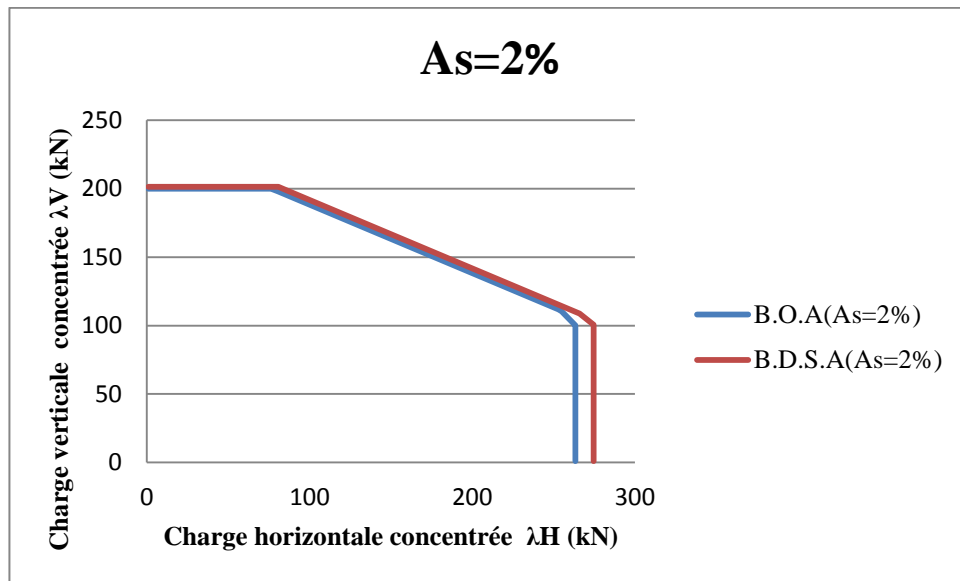


Figure 4.41 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T avec le taux d'armature de 2%.

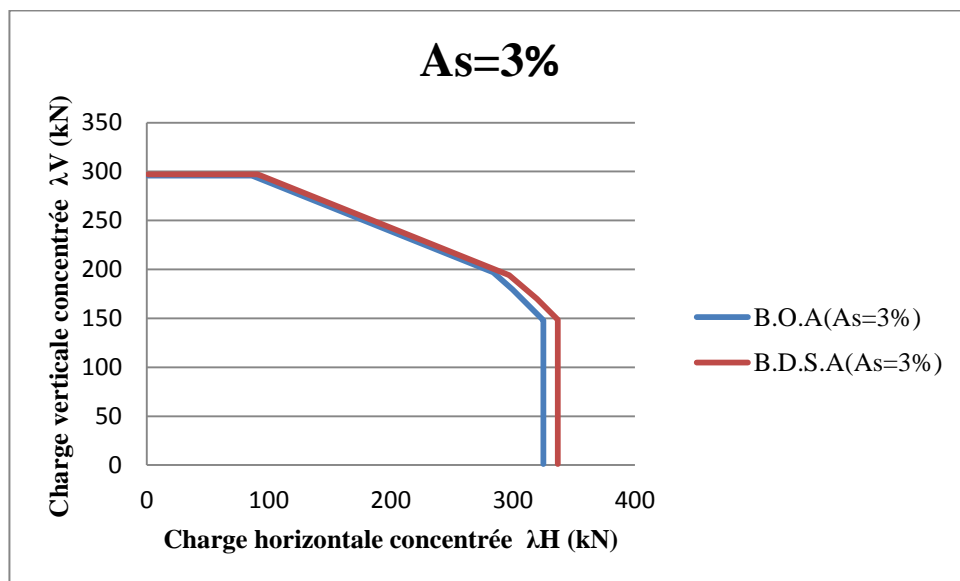


Figure 4.42 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T avec le taux d'armature de 3 %.

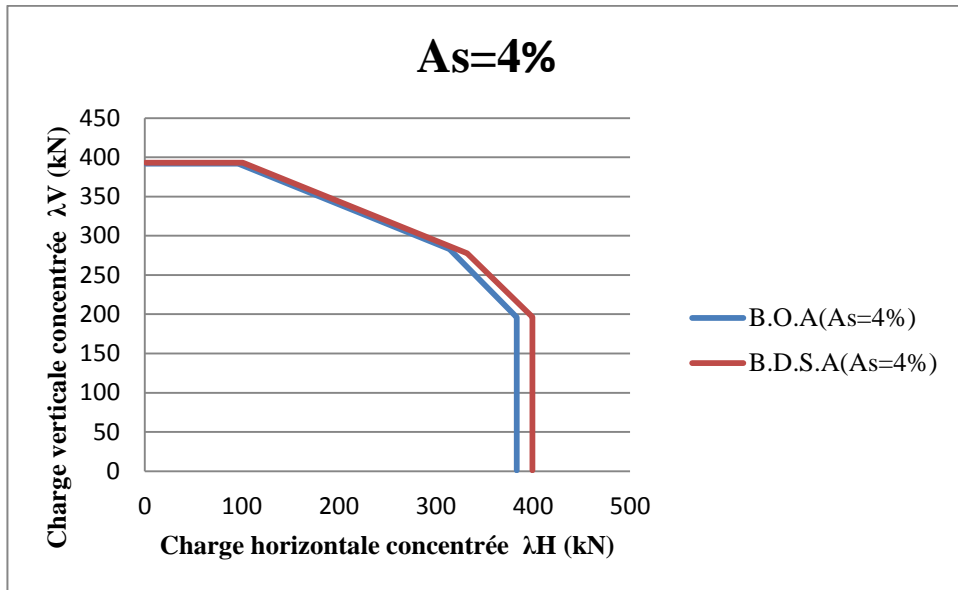


Figure 4.43 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 3N 4T avec le taux d'armature de 4 %.

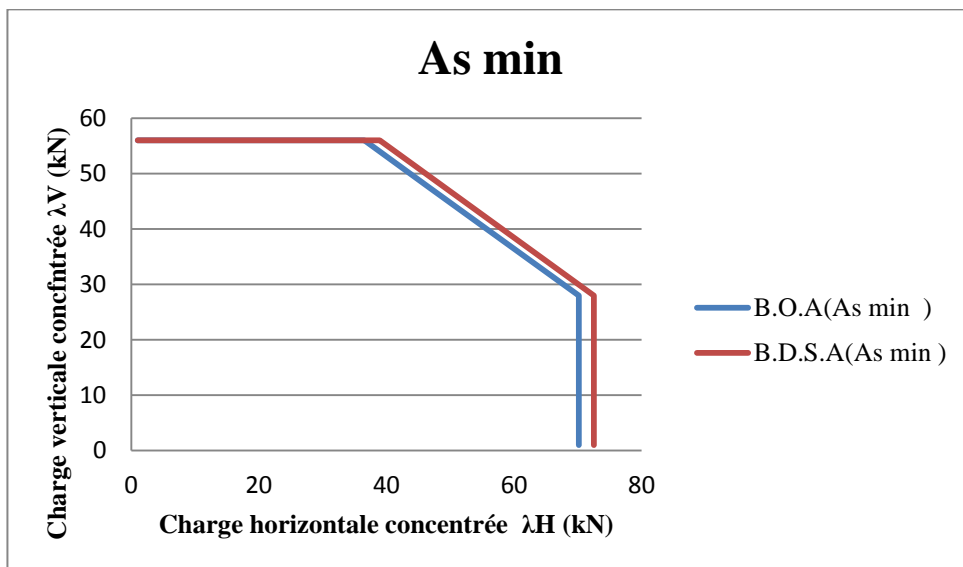


Figure 4.44: Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 4N 3T avec le taux d'armature de As min .

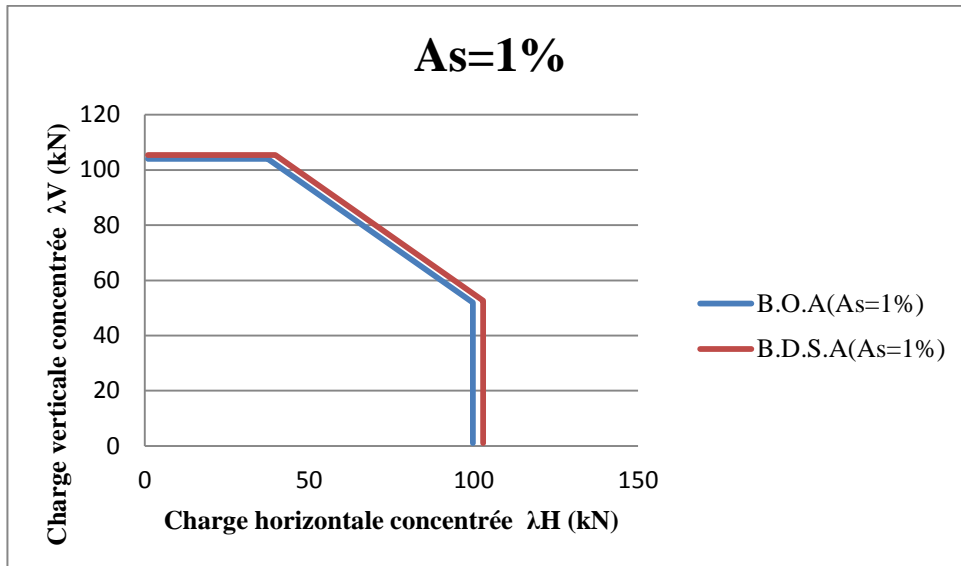


Figure 4.45: Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV- λH: cas du P 4N 3T avec le taux d'armature de 1 %.

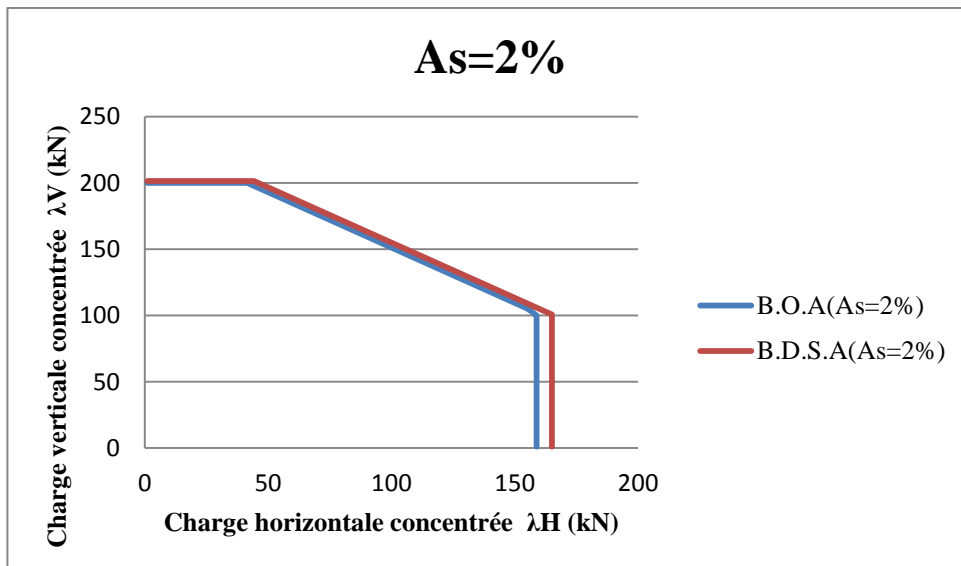


Figure 4.46 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV- λH: cas du P 4N 3T avec le taux d'armature de 2 %.

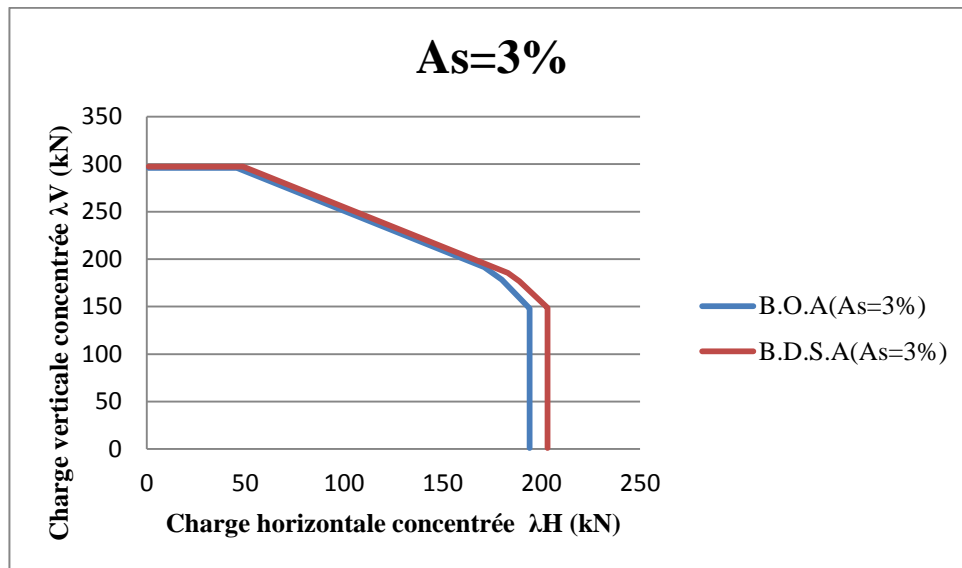


Figure 4.47 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 4N 3T avec le taux d'armature de 3 %.

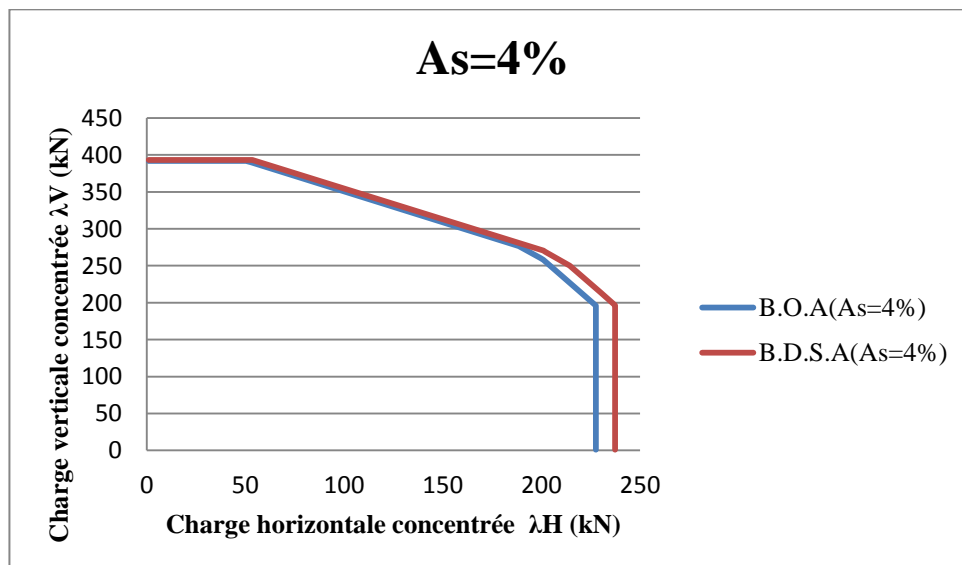


Figure 4.48 : Diagramme d'interaction pour le système de coordonnées λV - λH : cas du P 4N 3T avec le taux d'armature de 4 %.

a- Ligne parallèle à l'axe des yy:

λ_H semblent constant tendance de « Sway mechanism » la charge horizontale est prépondérante.

b- Ligne inclinée :

Partie inclinée représentante des tendances des « combined mechanism » d'où la contribution des charges verticales et horizontales à la formation des mécanismes de ruine est prépondérante.

c- Ligne parallèle à l'axe des xx:

λ_V semblent constant tendance de « beam mechanism » la charge verticale est prépondérante.

λ_V a des valeurs plus au moins constantes, l'étendue de cette partie dépend essentiellement de α dont la charge verticale est prépondérante et Pour diverses valeurs de pourcentage d'armature, d'où l'importance de ces deux paramètres par rapport aux valeurs des charges de ruine et des mécanismes de ruine développés.

4-6-4- Synthèse :

Ces diagrammes d'interaction présentent une forte similitude avec ceux des portiques réalisés par Boukeloua [3] , et par Bader [4] :

a- **Ligne parallèle à l'axe des yy:** tendance de « Sway mechanism » dont la charge horizontale est prépondérante. cette partie est nettement similaire pour les trois portiques témoins ainsi que le portique simple (un niveau et une travée) et le portique de deux niveaux et une travée .

b- **Ligne inclinée:** Partie inclinée représentante des tendances (chaque tendance représente une inclinaison) des « combined mechanism ». Il est constaté que le **P 3N 3T** a deux inclinaisons ainsi que le **P 3N 4T** par contre le **P 4N 3T** a trois inclinaisons.

c- **Ligne parallèle à l'axe des xx:** tendance de « beam mechanism » dont la charge verticale est prépondérante. cette partie est édifiante pour les trois portiques témoins .

A partir des diagrammes d'interaction, la détermination des mécanismes de ruine est très possible, elle est liée directement à la relation entre les deux charges λV et λH présentées sur les diagrammes d'interaction en fonction de α .

Le rapport $\alpha = \lambda V / \lambda H$ agit directement sur les charges de ruine et les mécanismes développés.

La partie inclinée qui représente des tendances des « combined mechanism » est liée directement avec le nombre de niveaux d'un portique à l'autre, c'est-à-dire, chaque rajout d'un niveau va faire créer à son tour une nouvelle tendance des « combined mechanism ».

Chapitre 5

ETUDE COMPARATIVE DE STRUCTURES EN PORTIQUES ENDOMMAGÉES EN BÉTON ORDINAIRE ARMÉ ET EN BÉTON DE SABLE ARMÉ

5- ETUDE COMPARATIVE DE STRUCTURES EN PORTIQUES ENDOMMAGÉES EN BÉTON ORDINAIRE ARMÉ ET EN BÉTON DE SABLE ARMÉ :

5-1- Rétro-analyses pour des structures simples endommagées :

5-1-1- Introduction :

L'image réelle instantanée après l'endommagement d'une section ou plus ou d'un élément de structure ne peut être obtenue qu'en utilisant les concepts de l'analyse plastique des structures et ce exclusivement par le biais de rétro-analyses de la structure en tenant compte du phénomène de redistribution des moments fléchissants.

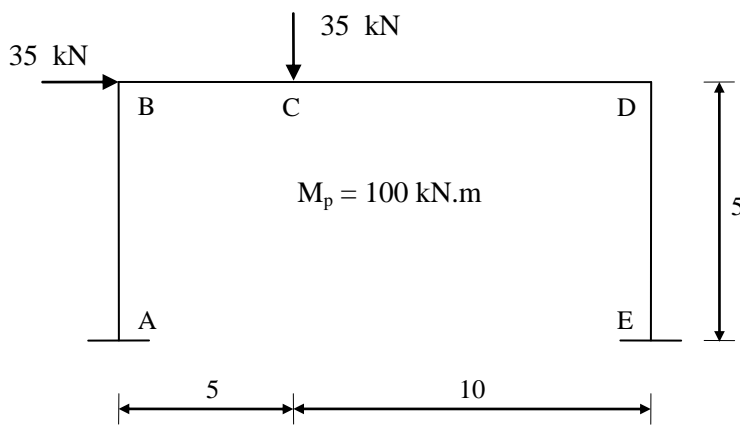
5-1-2- Processus d'obtention de l'image réelle après l'endommagement :

L'analyse de la structure sans tenir compte des différentes valeurs des moments plastiques aux différentes positions critiques (là où les moments sont maximums) va faire ressortir inéluctablement des moments fléchissants supérieurs aux moments plastiques correspondants. La distribution des moments fléchissants étant indépendante de la forme des sections, alors que les moments plastiques sont des caractéristiques des sections dépendant exclusivement des formes géométriques de ces dernières et de leurs caractéristiques mécaniques. Les méthodes de détermination des diagrammes des moments fléchissants (ces derniers sont uniquement fonction de la nature du chargement et des conditions d'appuis) supposent un comportement élastique ceci étant correct du point de vue mathématique et impossible du point de vue physique car les moments fléchissants ne peuvent, en aucun cas, être supérieurs aux moments plastiques correspondant. D'où la nécessité d'adopter une démarche qui consiste à ramener l'ensemble des moments fléchissants, au maximum, au niveau des sections critiques aux moments plastiques respectifs. La redistribution des moments fléchissants commence dès l'instant qu'une section atteint le moment plastique et ce processus continue jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de moment fléchissant supérieur au moment plastique à quelque niveau que se soit. Au moment de l'arrêt du processus de redistribution, l'image instantanée est alors obtenue et les positions de différentes rotules plastiques complètement identifiées.

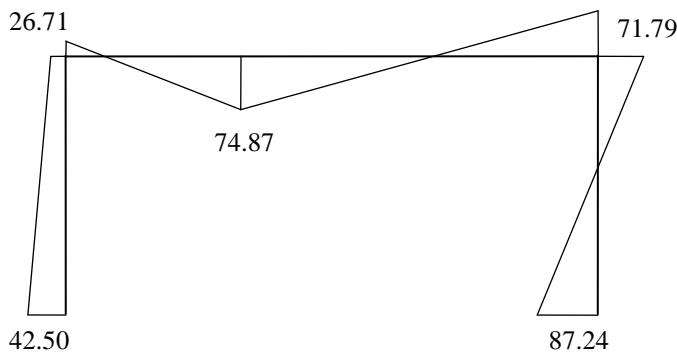
5-1-3- Exemple d'application :

5-1-3-1- Portique simple endommagé :

Les caractéristiques géométriques et mécaniques du portique et les points d'application des charges concentrées verticale, V, et horizontale, H, et les sections critiques de A à E au niveau des nœuds et sous l'application des charges concentrées V et H, sont représentés dans la figure (5-1) :



a) schéma du portique

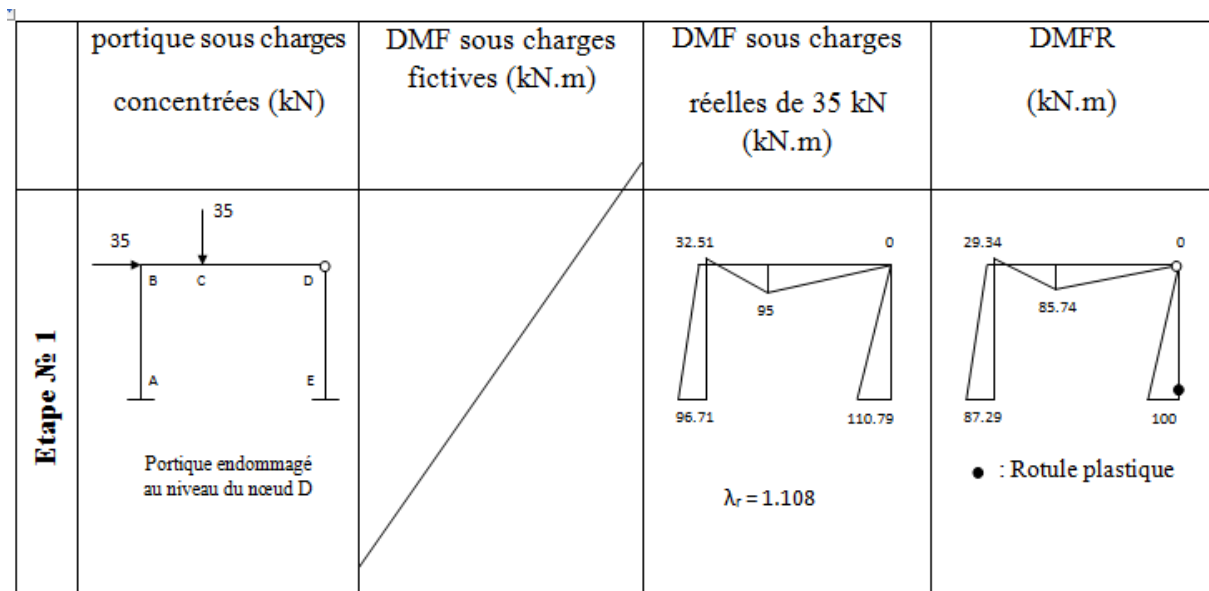


b) diagramme des moments fléchissants avant l'endommagement (kN.m)

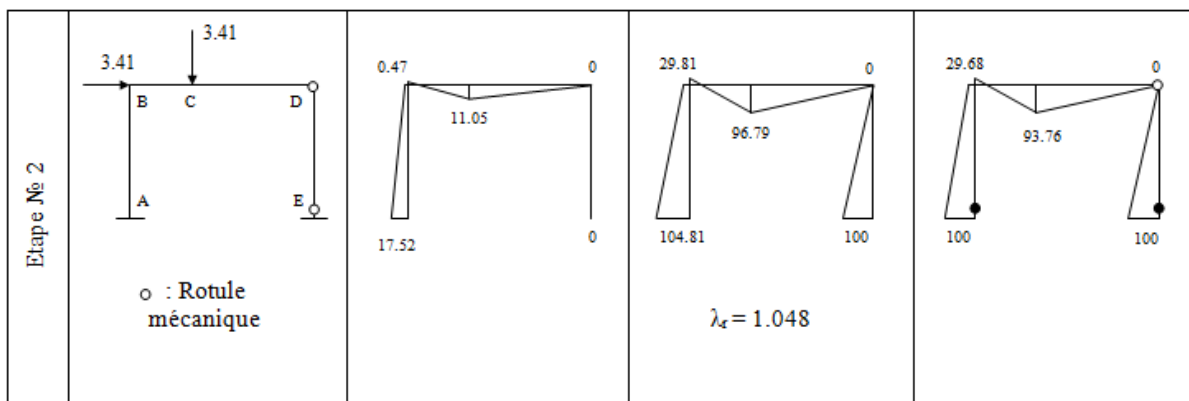
Figure 5.1 : Portique simple à une travée et un niveau avant l'endommagement.

Le portique simple représenté sur la figure (5-1-a) supporte une combinaison de charges, une charge verticale concentrée, V, et une charge horizontale concentrée, H, il est supposé initialement que $V = H = 35 \text{ kN}$. Le comportement du portique avant l'endommagement est élastique (c'est-à-dire le comportement des sections critiques est élastique), et une analyse élastique donne un diagramme des moment fléchissants représenté sur la figure (5-1-b).

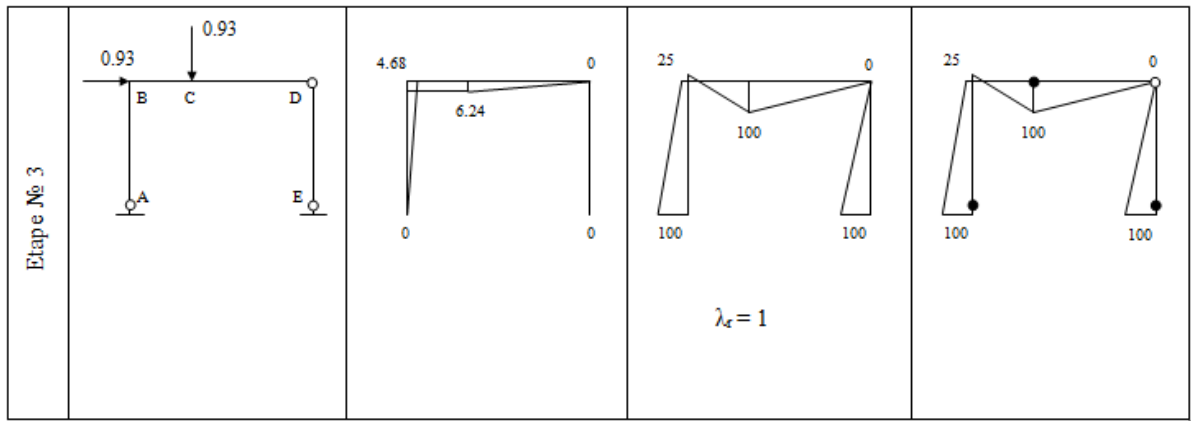
Une fois le portique subit un endommagement, dans ce cas, au niveau du nœud, D. ce nœud est modélisé par une rotule mécanique (figure 5-2-a) le traitement du portique endommagé donne un diagramme des moments fléchissants (figure 5-2-a-colonne 3). Ce diagramme des moments fléchissants relève un moment max au niveau de l'encastrement, E, supérieur à M_p (il en est de même pour une partie du montant droit proche de cet encastrement). Ceci étant juste du point de vue mathématique mais impossible du point de vue physique. A cet instant le processus de rétro-analyses s'enclenche et le facteur redresseur, λ_r , a une valeur de 1.108 ($M_{max} / M_p = 110.79/100$) (figure 5-2-a) le diagramme des moments fléchissants redressé est représenté au niveau de la quatrième colonne de la figure (5-2-a).



a) Rétro-analyse pour le portique endommagé (étape N°1)



b) Rétro-analyse pour le portique endommagé (étape N°2)



c) Rétro-analyse pour le portique endommagé (étape №3)

Figure 5.2 : Rétro-analyse pour le portique endommagé

Le portique originel endommagé est remplacé par un portique avec deux rotules (une rotule modélisant l'endommagement au point D et une rotule mécanique qui remplace la rotule physique $M = M_p$ au point E de l'étape №1). Le portique en question est réanalysé sous l'action des charges excédentaires c'est la différence entre les charges appliquées permanentes (35 kN) et les charges qui auraient données le diagramme des moments fléchissants redressé (figure 5-2-a-colonne 4) [$35 - 31.59 = 3.41$ kN].

Le diagramme des moments fléchissants sous cette différence de charges qui ont fait des charges fictives représenté sur la figure (5-2-b-colonne 2)

Le diagramme des moments fléchissants étant la superposition du diagramme des moments fléchissants redressé de l'étape №1 et le diagramme des moment fléchissants sous la combinaisons différences de charges (figure 5-2-b-colonne 2). Ce diagramme est représenté sur la figure (5-2-b-colonne 3) et il s'avère que le moment plastique avec au niveau du point A est supérieur au moment plastique avec une petite zone proche du point A sur le montant gauche, le facteur redresseur correspondant est de 1.0448 et le diagramme des moments fléchissants redressé correspondant est représenté sur la figure (5-2-b-colonne 4).

Le processus de rétro-analyses devant être poursuivi et la même démarche est adoptée au niveau de la troisième étape dont le diagramme des moments fléchissants redressé final est représenté sur la figure (5-2-c-colonne 4). La fin de cette étape révèle que le portique avant l'endommagement étant trois fois hyperstatique s'est transformé à la fin du processus (image instantanée immédiatement après la rupture d'un nœud) en un mécanisme de ruine dont la nature est facilement identifiée à un « combined mechanism ».

Dans ce cas la rupture d'un encastrement a engendré une ruine totale.

5-2- Analyse des trois portiques témoins endommagés en utilisant la méthode non linéaire « pushover » :

5-2-1- Introduction :

L'image instantanée après la rupture d'un élément de la structure (diagramme des moments fléchissants immédiatement après la rupture où les sections qui auront atteint les valeurs des moments plastiques correspondants sont clairement et précisément identifiées) n'est possible que par l'utilisation de rétro-analyses. L'obtention de l'image réelle en utilisant le processus décrit dans le paragraphe précédent, pour des structures simples est facile mais quand la structure devient multi-étagée et/ou multi-travée, le processus devient laborieux. Pour se faire, la méthode « pushover » a été utilisée pour l'obtention de l'image instantanée pour trois portiques témoins dont un portique témoin de base avec trois niveaux et trois travées. Ces images instantanées ont été obtenues suite respectivement à la rupture d'un poteau voisin de rive et poteau de rive. En plus de cela les effets quelques paramètres influents sont mis en exergue (le rajout d'un niveau ou celui d'une travée).

Le présent travail a été accompli pour des différentes valeurs de M_{pb} (BOA,BDSA), et M_{pc} (BOA,BDSA) en fonction de cinq valeurs de A_s pour le BOA et le BDSA sous l'effet d'une charge d'exploitation répartie, donc cinq cas différents :

- le premier cas pour $A_s = A_{s \min}$:
 - poteau $A_{s \min} = 0,8 \%$
 - poutre $A_{s \min} = 0,5 \%$
- le deuxième cas pour $A_s = 1 \%$
- le troisième cas pour $A_s = 2 \%$

- le quatrième cas pour $A_s = 3 \%$
- le cinquième cas pour $A_s = 4 \%$

Il a été jugé nécessaire et pratique de représenter les diagrammes des moments fléchissants et les portiques endommagés avec les différentes rotules plastiques développées et leur ordre d'apparition.

5-2-2- La rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T (portique de base):

5-2-2-1- Image instantanée après l'endommagement:

-1^{er} cas : $A_s = A_s \text{ min}$:

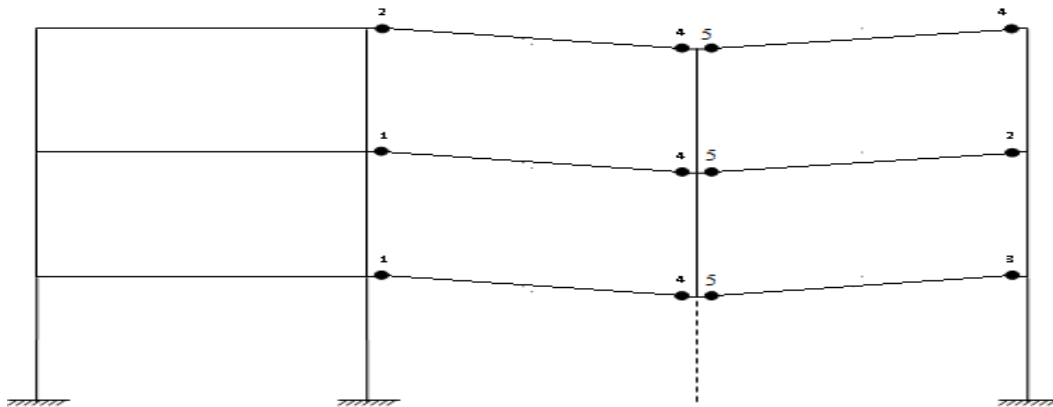
poteau $A_s \text{ min} = 0,8 \%$

poutre $A_s \text{ min} = 0,5 \%$

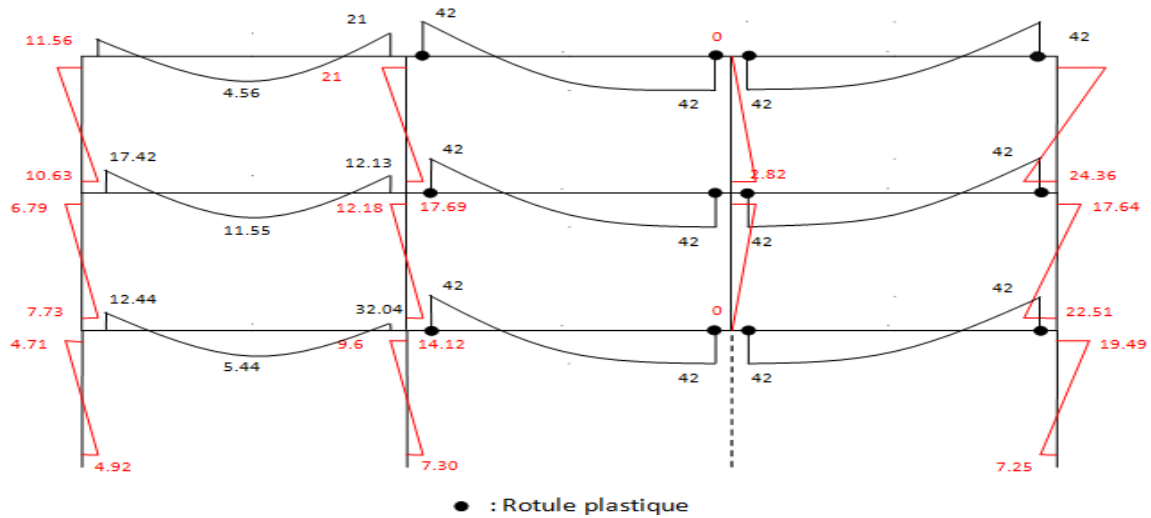
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 234 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 3N 3T



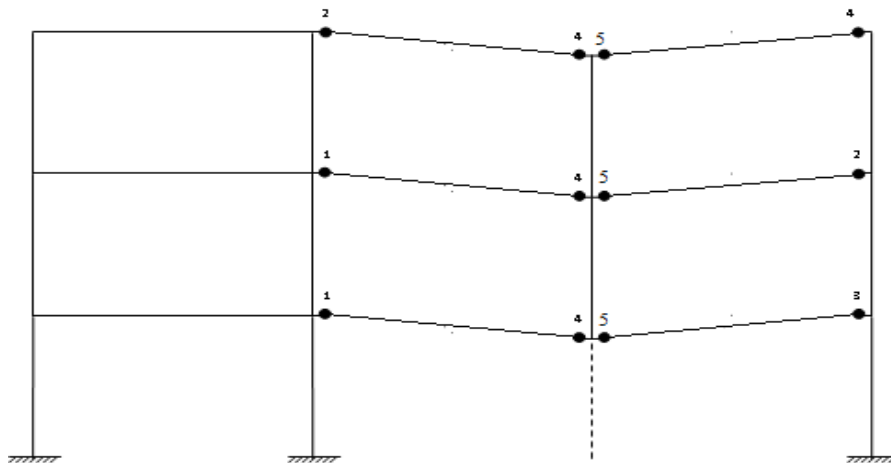
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.3 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de A_s min

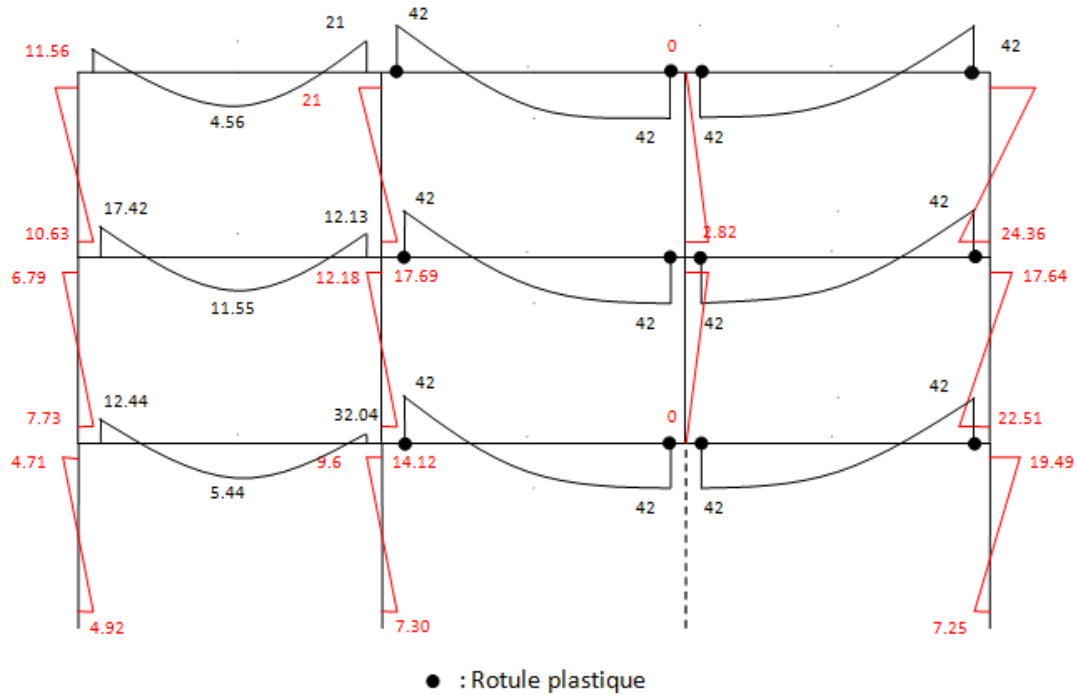
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 247 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture
d'un poteau voisin de rive (kN.m)

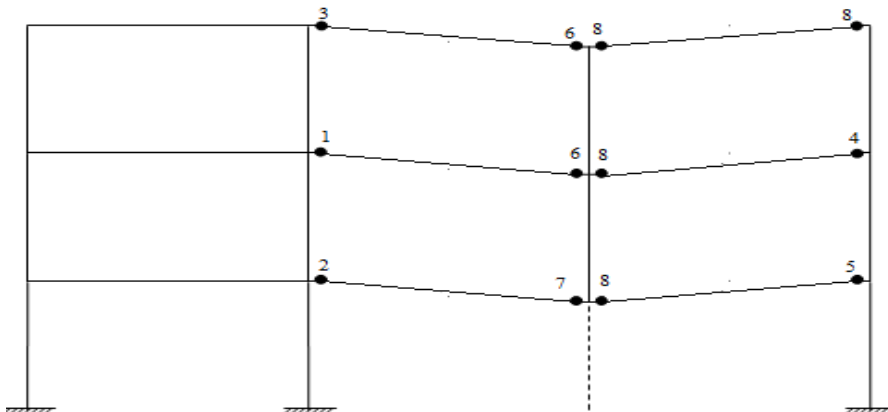
Figure 5.4 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de A_s min

-2^{ème} cas : $A_s = 1\%$

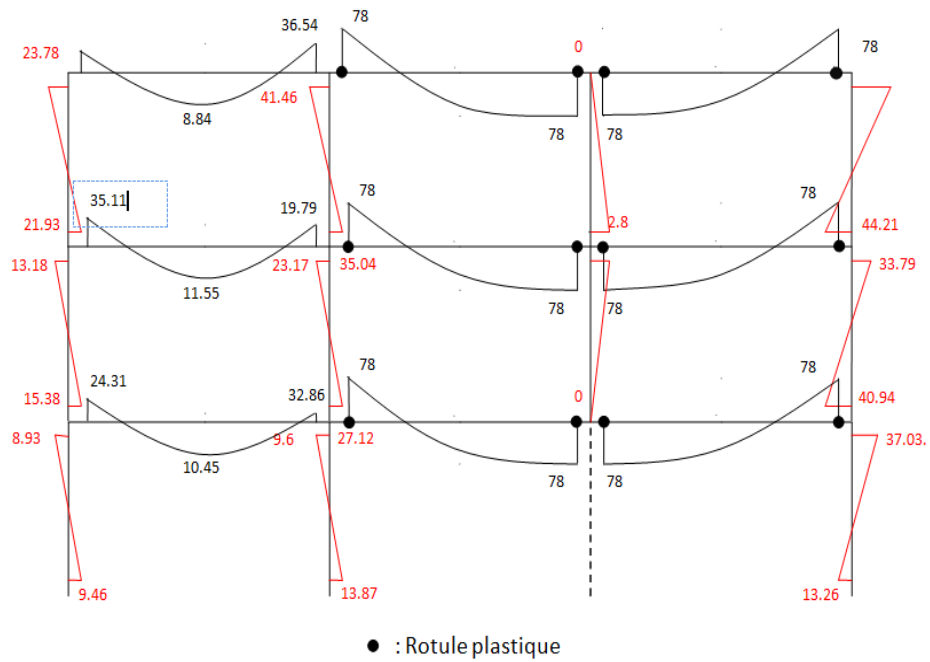
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 240 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



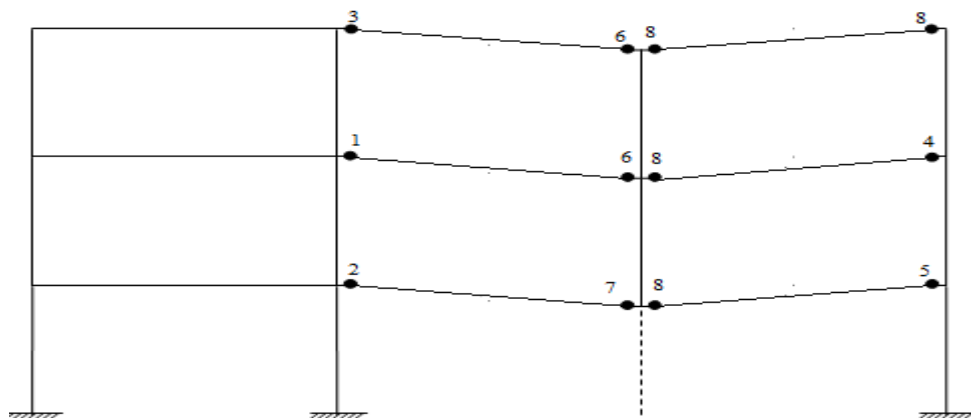
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.5 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%

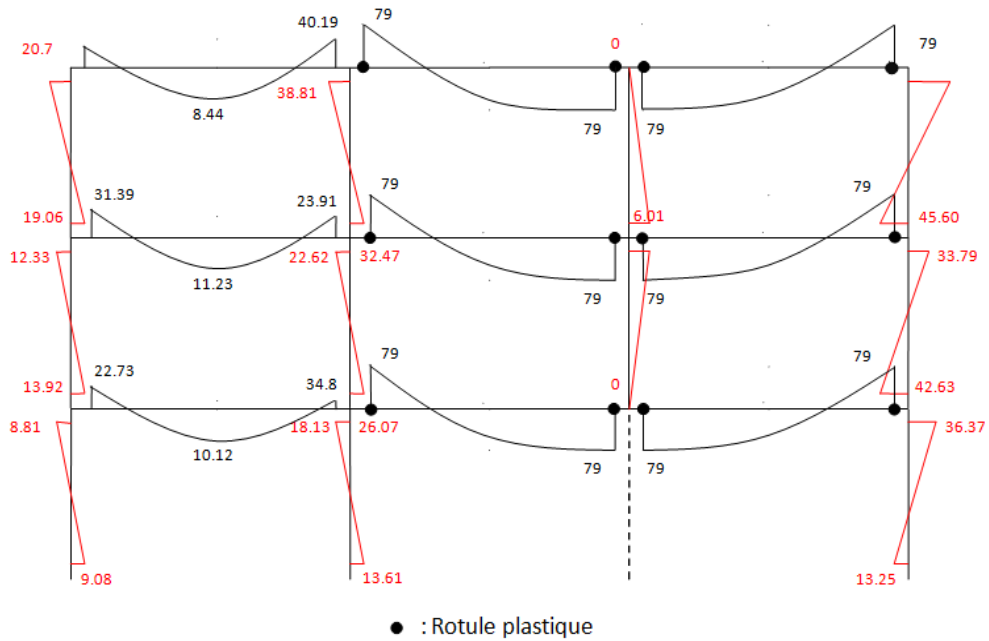
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 254 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

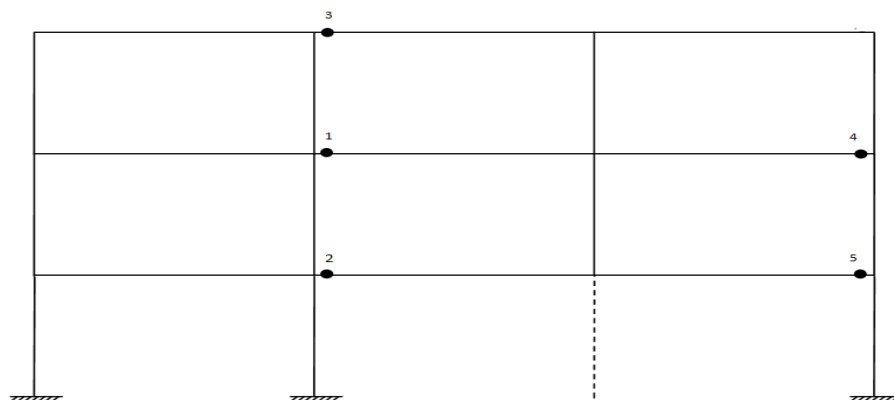
Figure 5.6 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%

3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

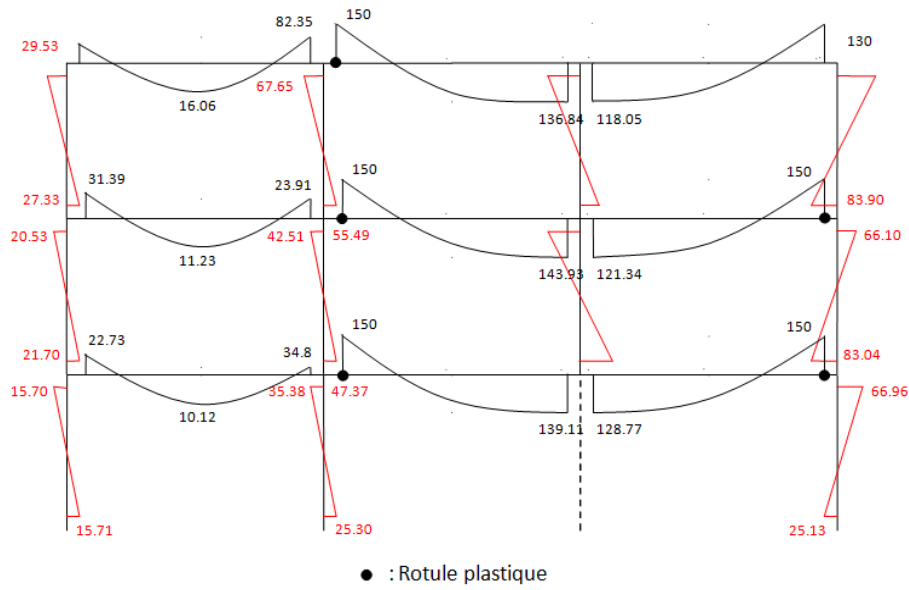
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 150$ kN.m

$M_{pc} = 274$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



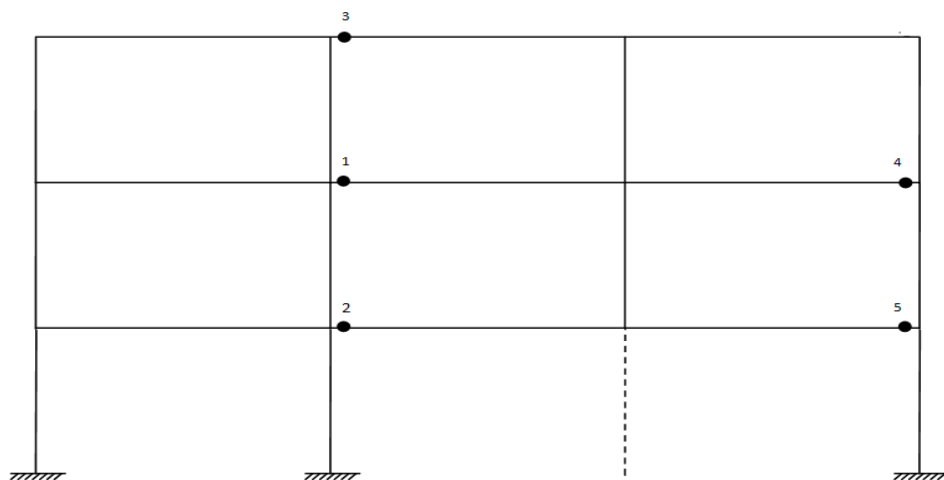
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture
d'un poteau voisin de rive (kN.m)

*Figure 5.7: Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BOA)
avec le taux d'armature de 2%*

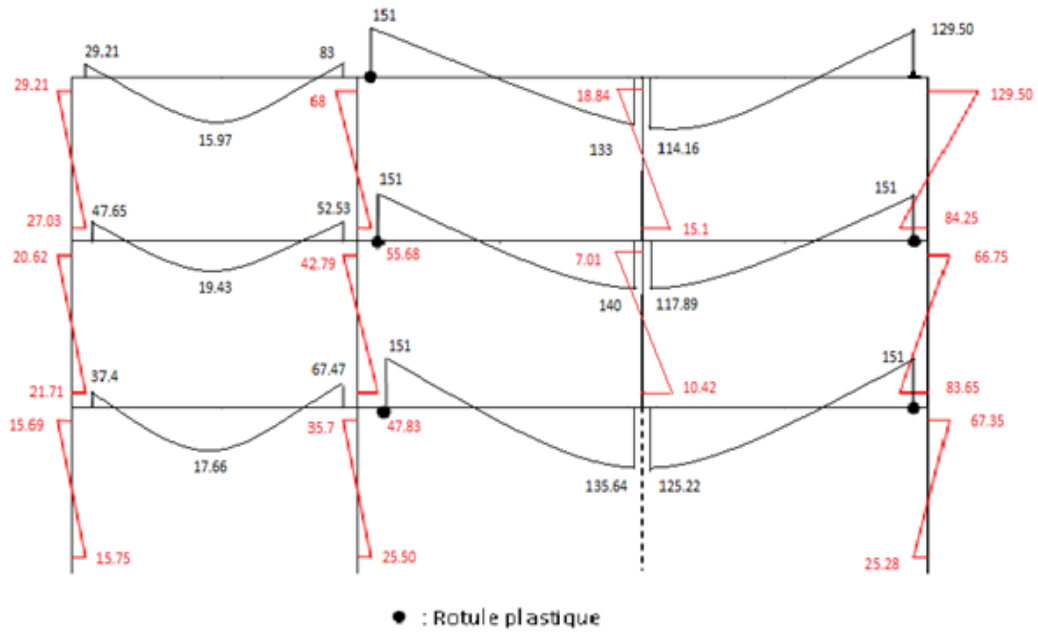
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 290 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

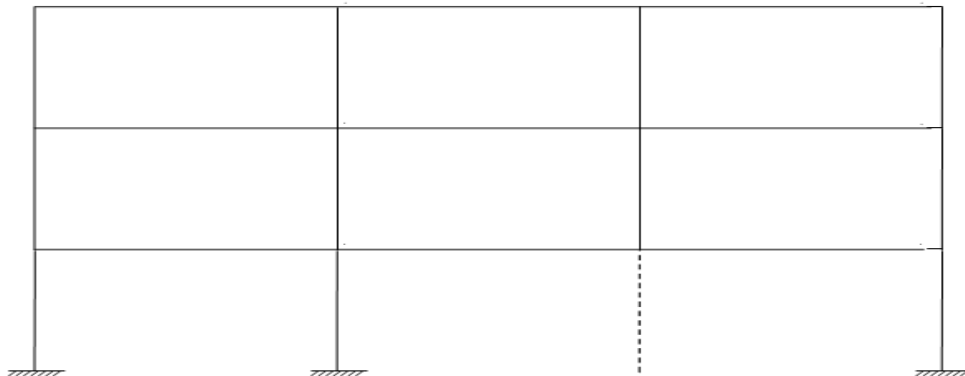
Figure 5.8 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%

-4^{ème} cas : $A_s = 3\%$

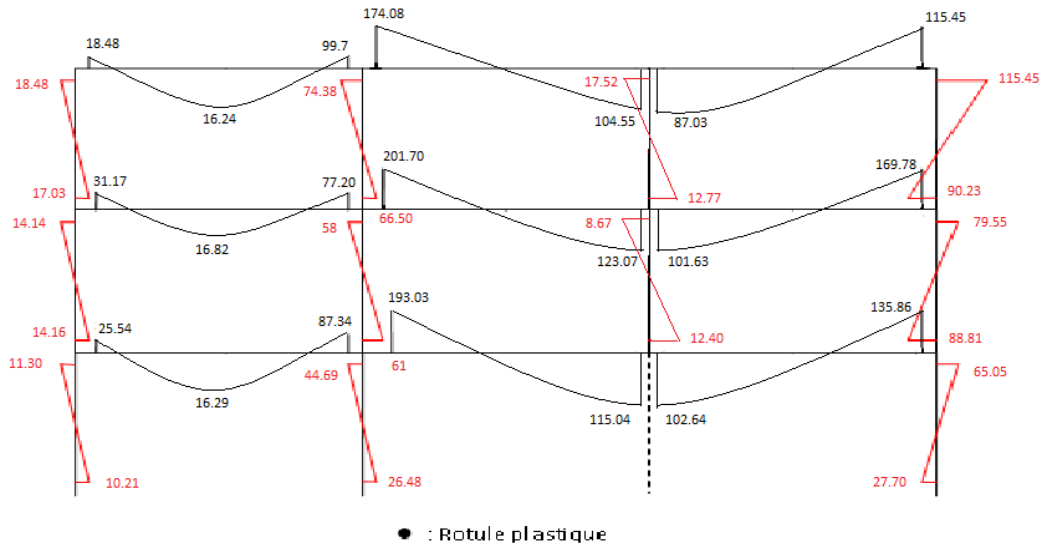
a)-**Béton ordinaire armée :**

$M_{pb} = 222$ kN.m

$M_{pc} = 309$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



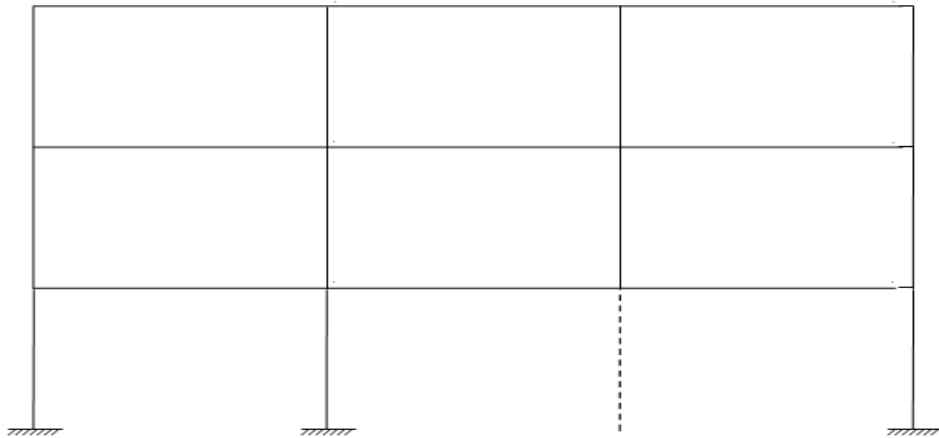
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.9 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%

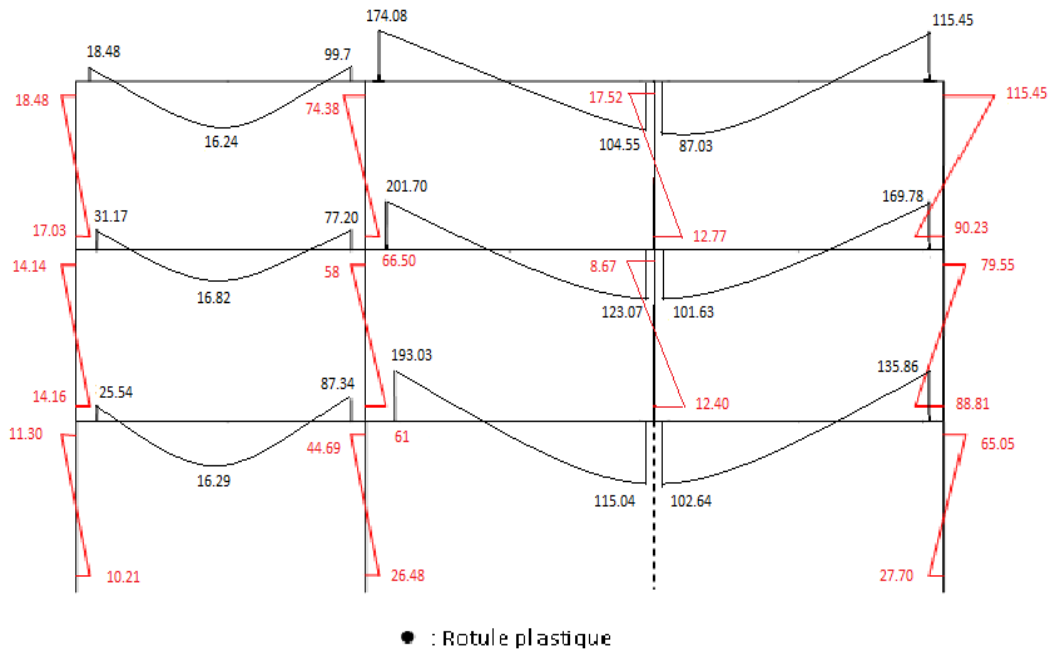
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 326 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

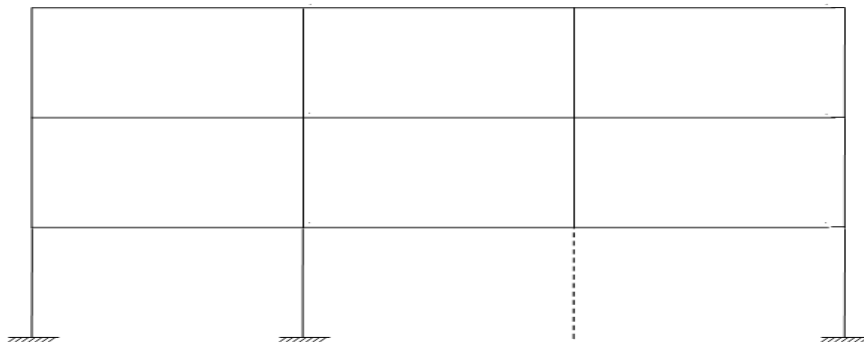
Figure 5.10 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%

-5^{ème} cas : $A_s = 4\%$

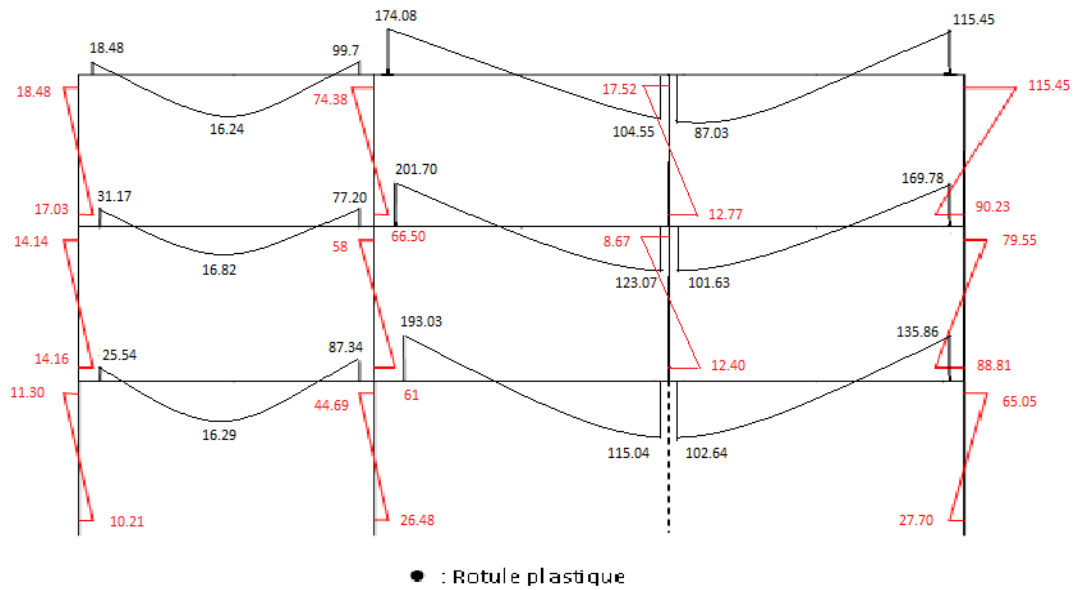
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 294$ kN.m

$M_{pc} = 344$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



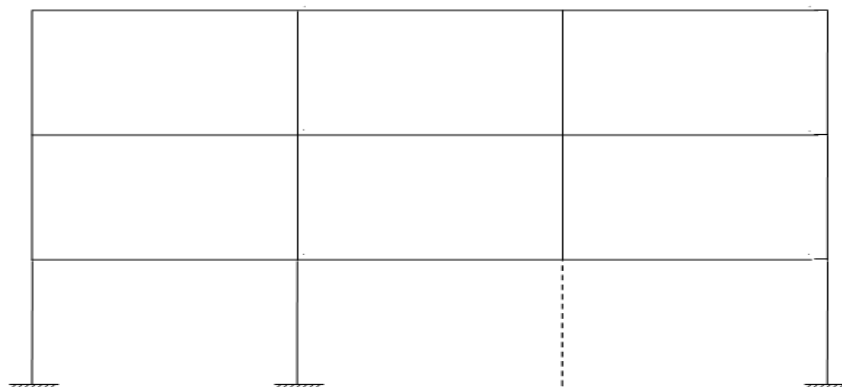
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.11 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%

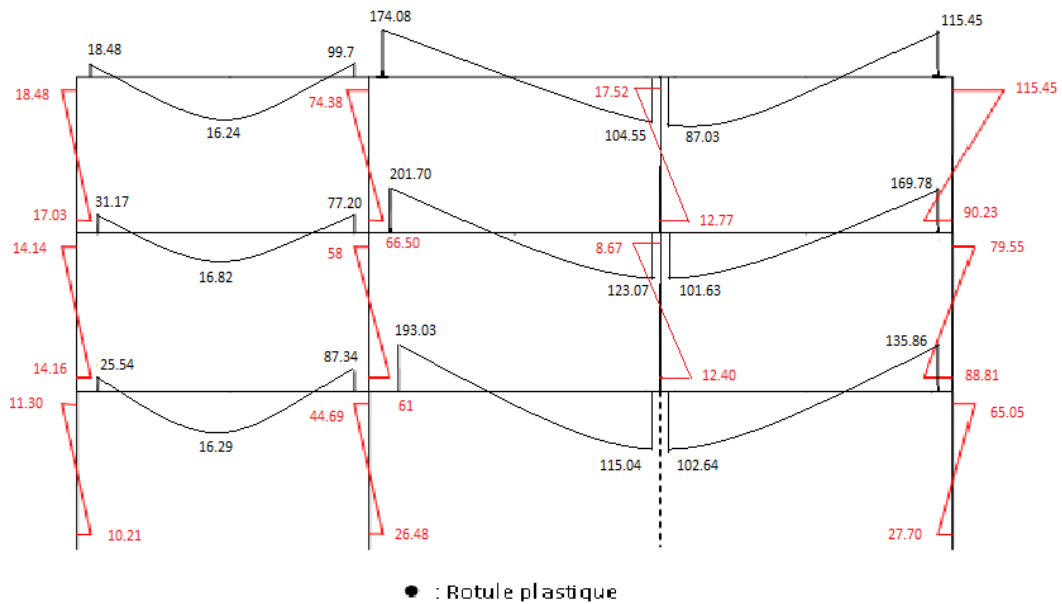
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 362 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture
d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.12 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%

5-2-2-2 -Principales constatations:

L'analyse du portique **P 3N3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive fait ressortir les constatations suivantes :

- Les rotules plastiques se sont développées uniquement au niveau des poutres.
- Le nombre développé de rotules plastiques juste après l'endommagement pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% , est de douze les trois dernières rotules apparaissant simultanément (figure 5-3 et 5-4 et 5-5 et 5-6) mais pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre est réduit à cinq (figures 5-9 et 5-10) ,et pour le quatrième cas et le cinquième en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% et 4% aucune rotule développe .

- L'emplacement et l'ordre des six premières rotules plastiques développées pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et ceux pour le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% sont absolument les mêmes.
- Dès qu'une des conditions (équilibre, écoulement et mécanisme) n'est pas satisfaite, en l'occurrence, la condition d'équilibre, dans ce cas, le processus est condamné à s'arrêter quelque soit le nombre de rotules plastiques développé. Cette situation est en fait expliquée par le développement d'un mécanisme élémentaire ou d'une ruine partielle.
- Les rotules plastiques formées au niveau des poutres du troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% pourront être considérée comme bloquée (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les cinq rotules plastiques peuvent être considérées comme bloquées (figure 5-9-a et 5-10-b).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 28$. ce qu'est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Cette dernière n'est pas satisfaite pour l'ensemble de ces cas.

5-2-2-3 -Synthèse :

- La rupture d'un poteau voisin de rive n'entraîne pas l'écrasement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).
- Pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , la rupture d'un poteau n'entraîne aucune déformabilité du portique. De ce fait, l'endommagement est local car les cinq rotules développées considérées comme bloquées (le portique pouvant être considéré comme statique).
- Pour le quatrième et cinquième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3 et 4% respectivement aucune rotule plastique n'a été développée (tous les moments fléchissants restent inférieures aux moments plastiques correspondants), donc la totalité de la structure reste stable après la rupture du poteau.

- Les ruines partielles sont constituées de « beam mechanisms ». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres, les poteaux restants intacts.

5-2-3- La rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T (portique de base):

5-2-3-1- Image instantanée après l'endommagement:

-1^{er} cas : $A_s = A_{s \text{ min}}$:

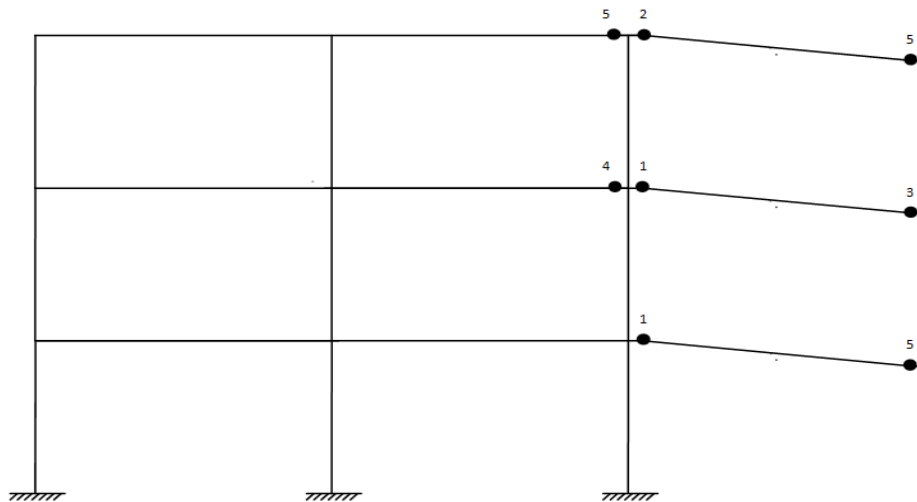
poteau $A_{s \text{ min}} = 0,8 \%$

poutre $A_{s \text{ min}} = 0,5 \%$

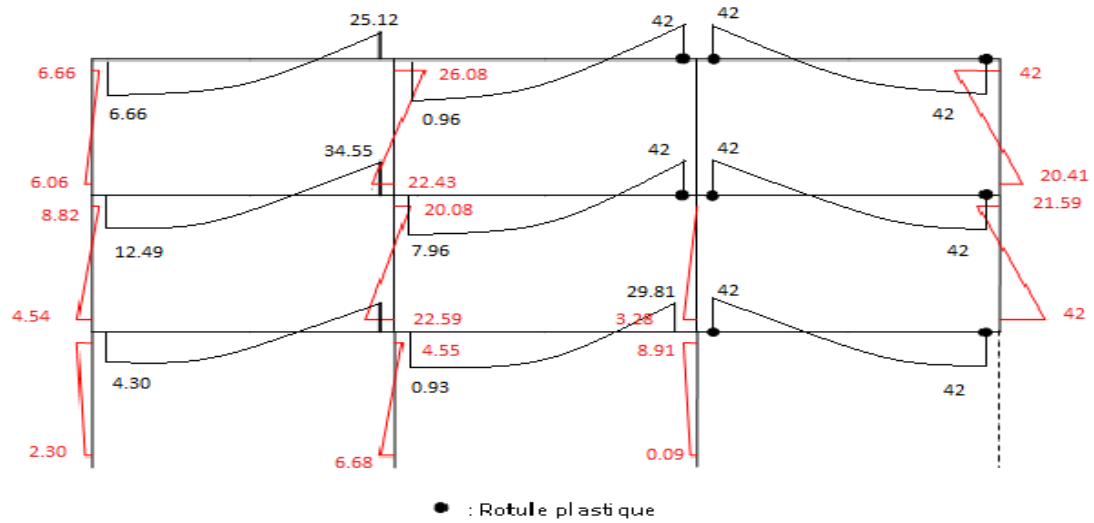
a)-**Béton ordinaire armée :**

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 234 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 3N 3T



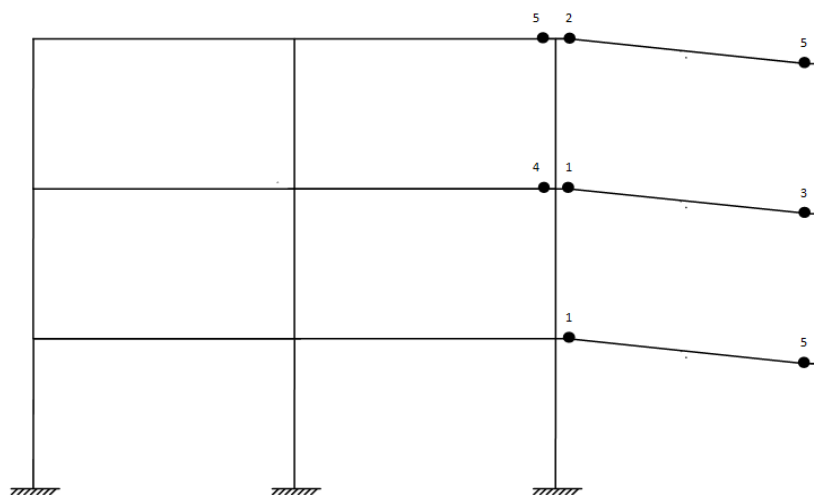
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.13 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de A_s min

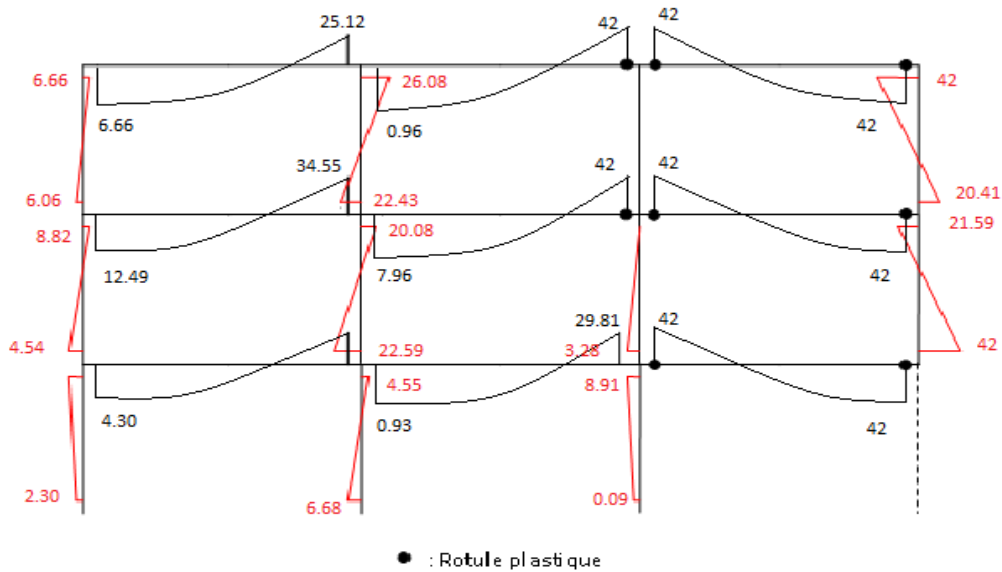
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 247 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

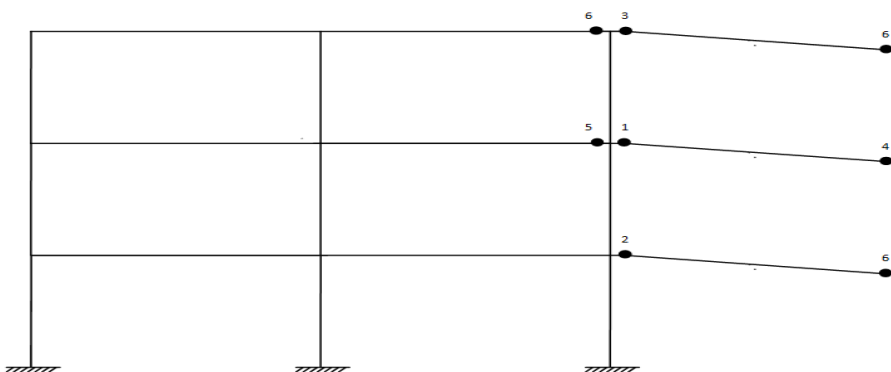
Figure 5.14: Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min

-2^{ème} cas : $A_s = 1\%$

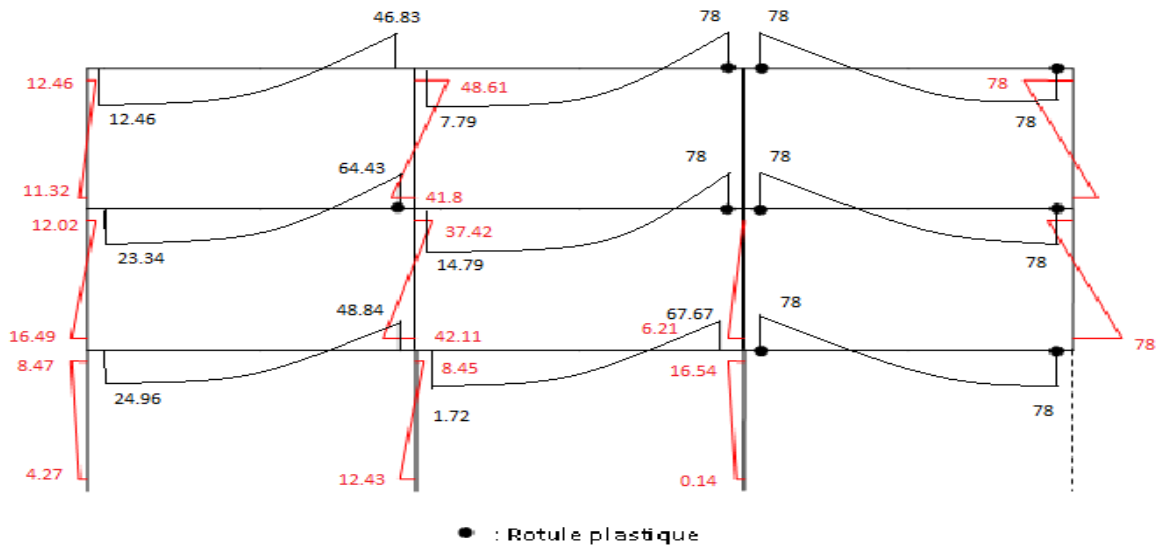
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 240 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



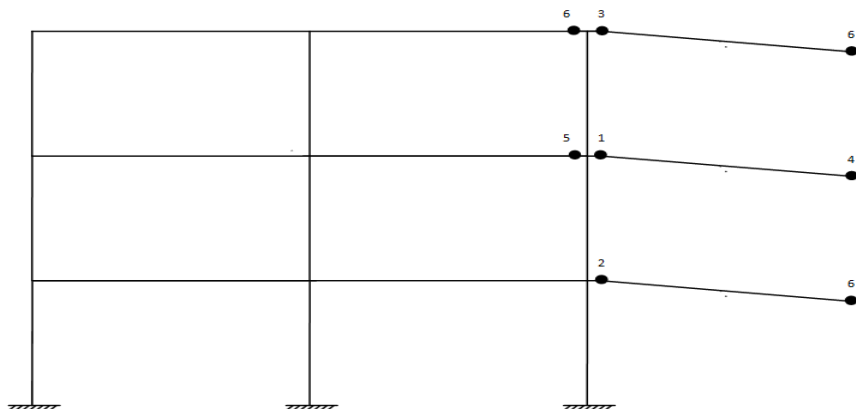
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.15 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%

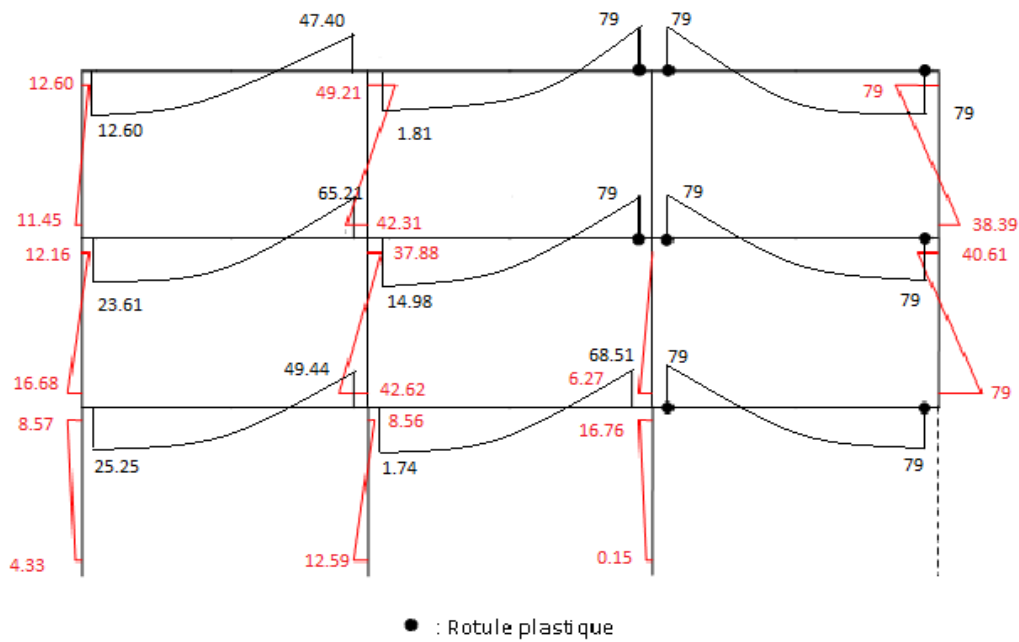
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 254 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

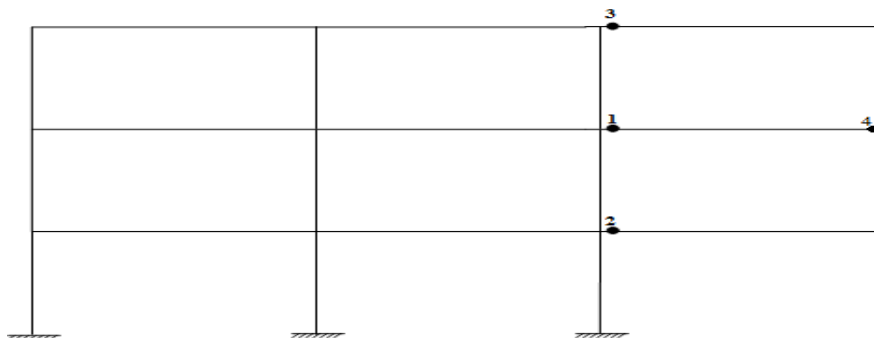
Figure 5.16 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%

-3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

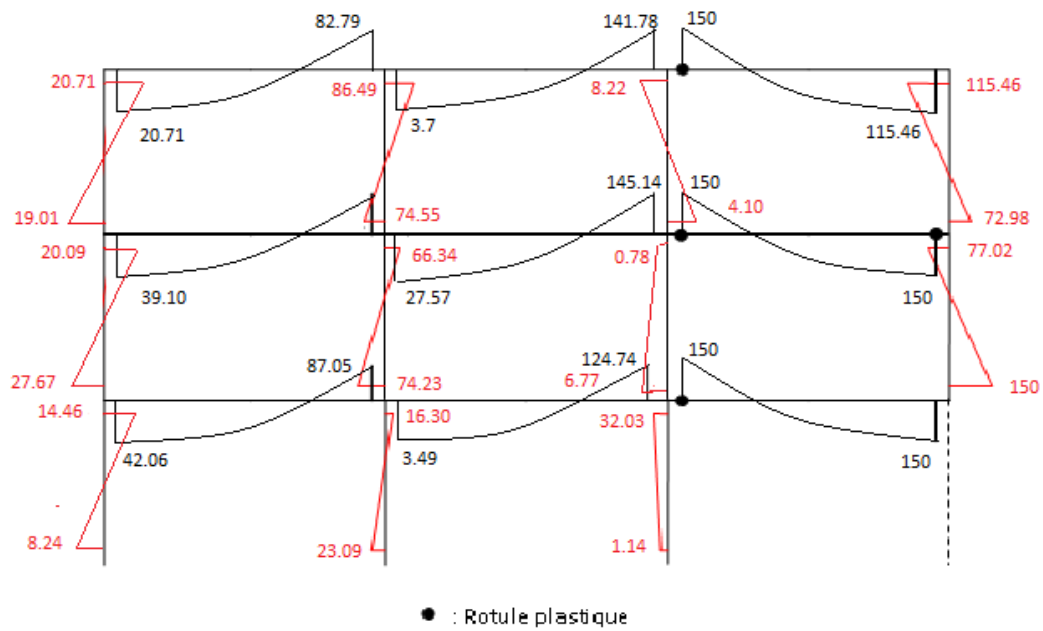
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 274 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



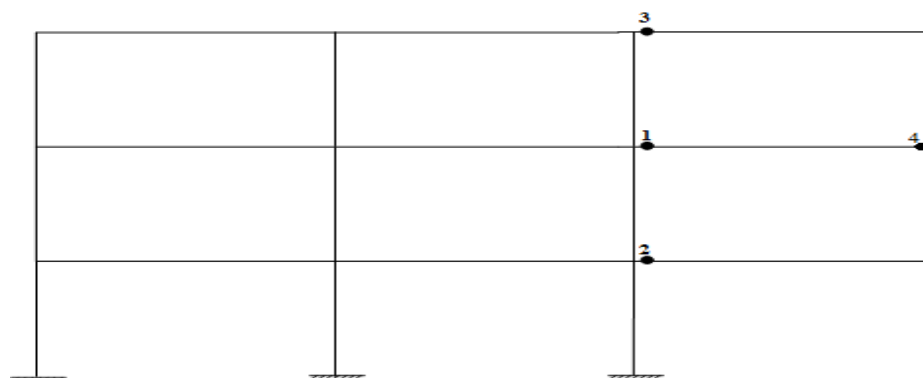
b) diagramme des moments fléchissants du P 3N 3T après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.17 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%

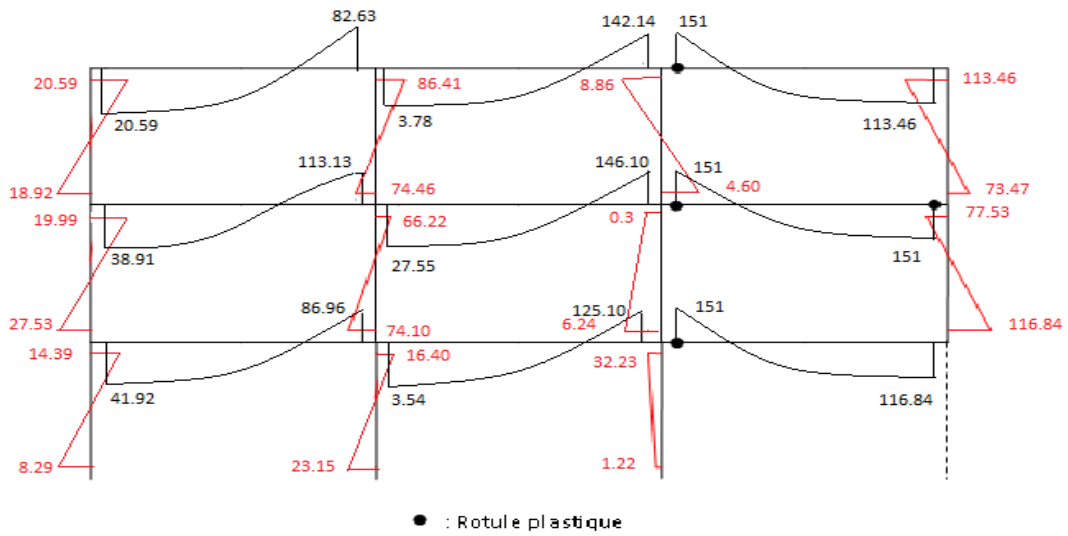
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 290 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 3N 3T



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

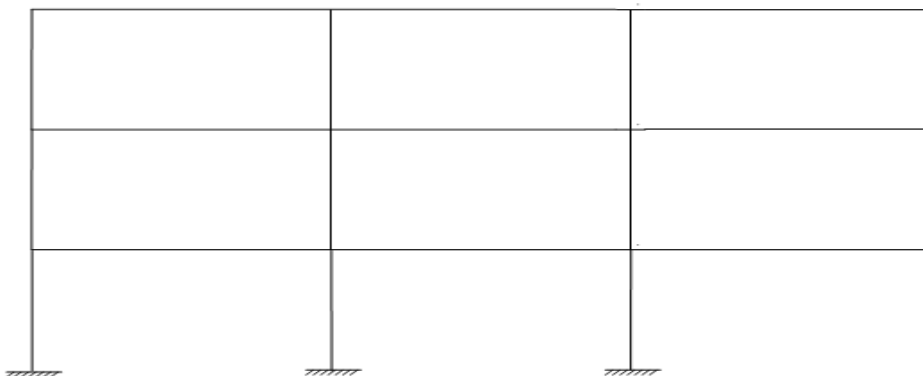
Figure 5.18 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T : cas $A_s = 2 \%$ (BDSA)

-4^{ème} cas : $A_s = 3 \%$

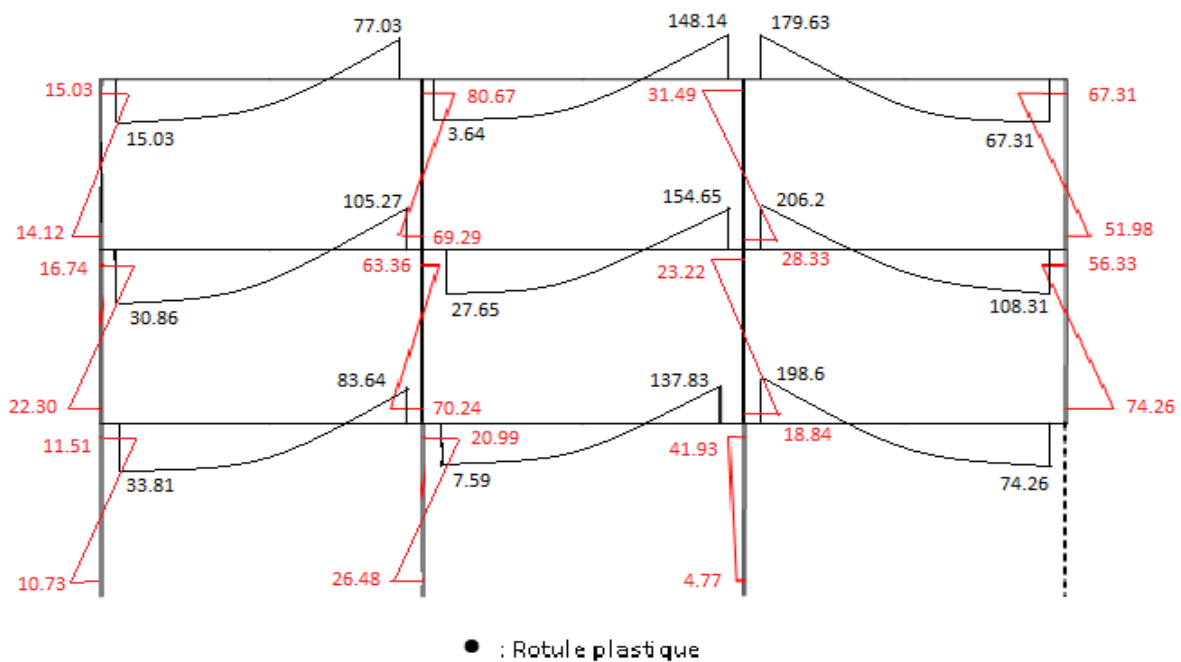
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 222$ kN.m

$M_{pc} = 309$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



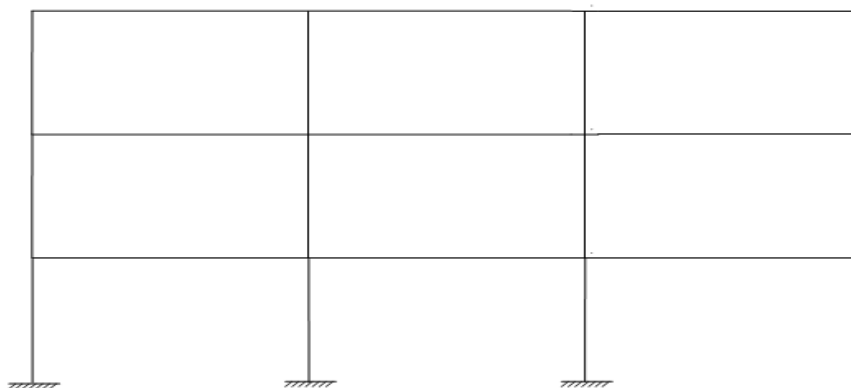
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.19 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%

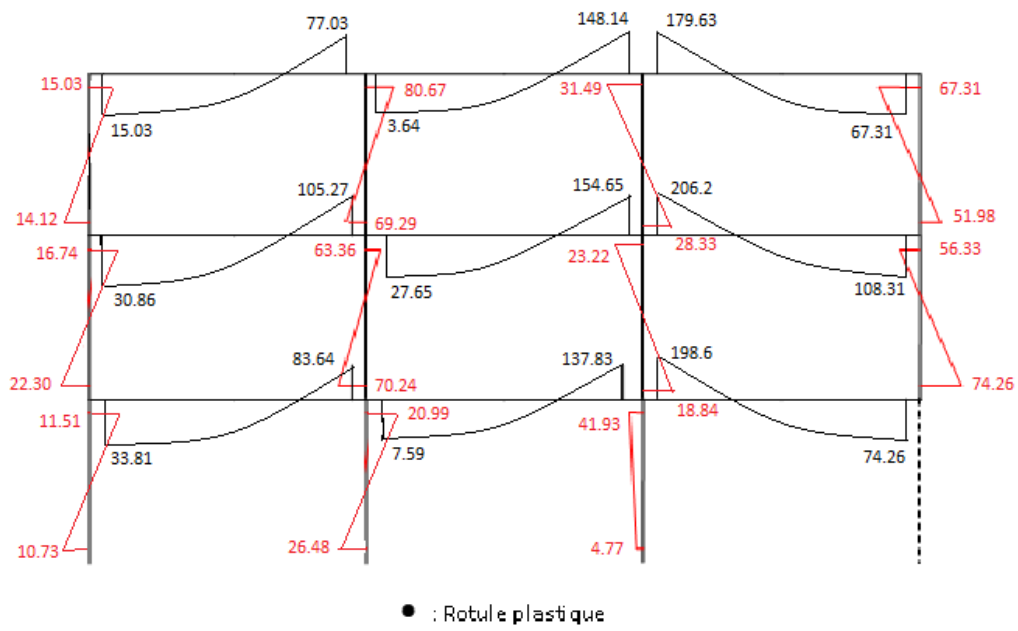
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 326 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.20 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%

-5^{ème} cas : $A_s = 4 \%$

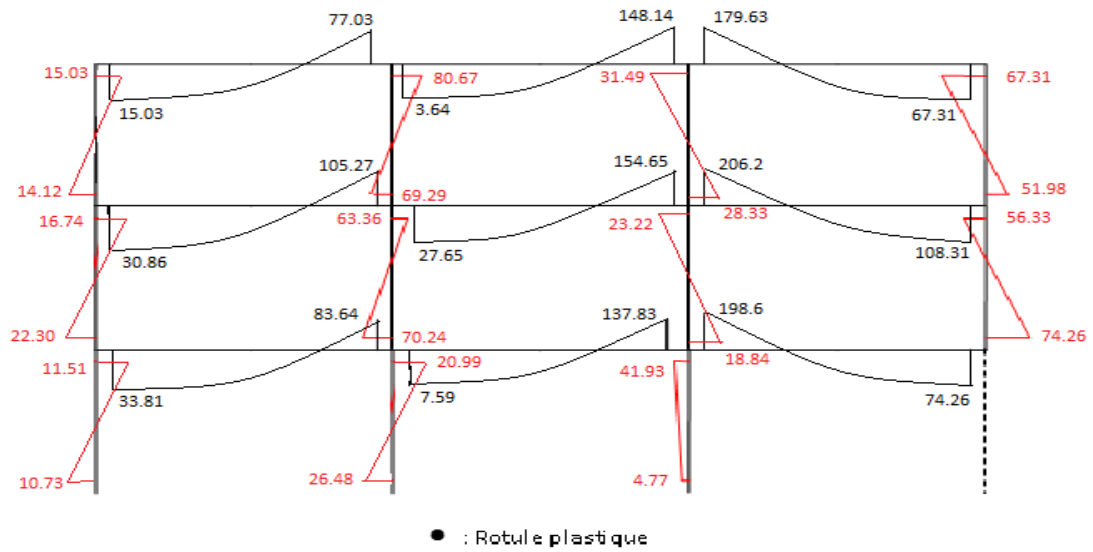
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 344 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



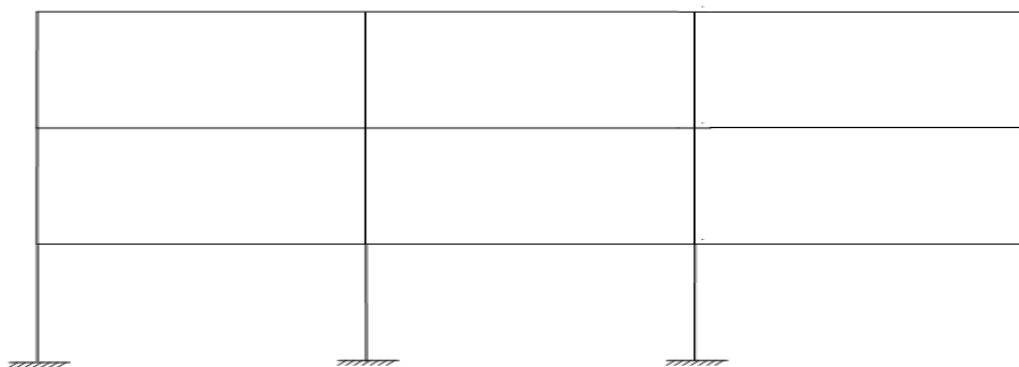
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.21 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%

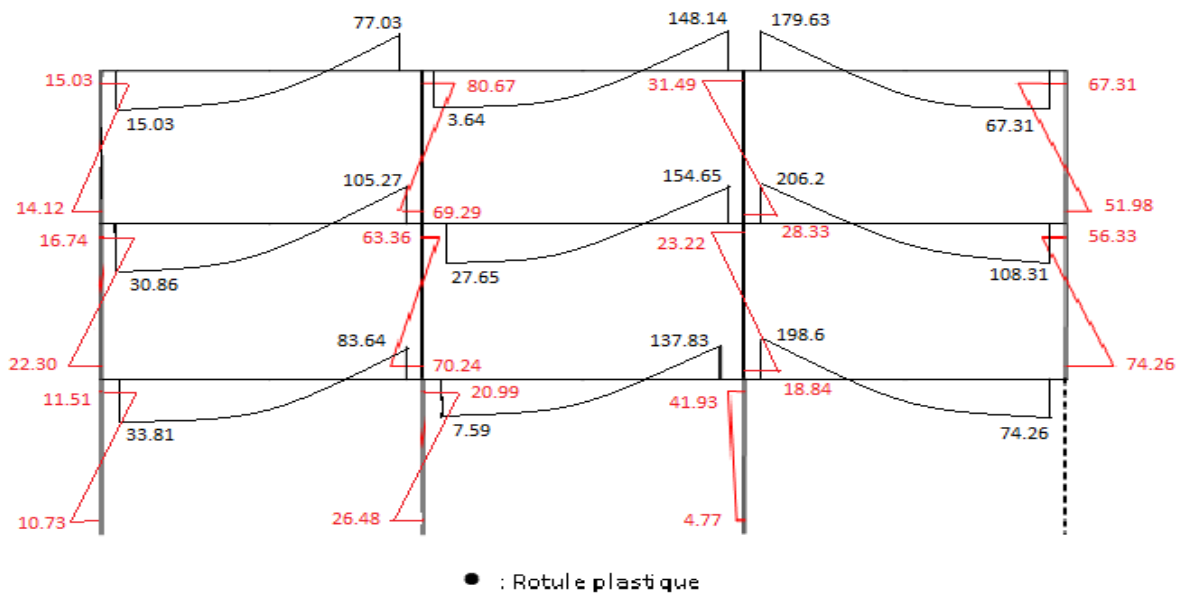
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 362 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.22 : Image instantanée après la rupture d'un poteau de rive du P 3N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%

5-2-3-2- Principales constatations:

L'analyse du portique **P 3N3T** après la rupture d'u poteau de rive fait ressortir les constatations suivantes :

- Les rotules plastiques se sont développées uniquement au niveau des poutres.
- Le nombre développé de rotules plastiques juste après l'endommagement pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% est de huit, les trois dernières rotules apparaissant simultanément (figure 5-13 et 5-15) mais pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre est réduit à quatre (figures 5-17 et 5-18).
- L'emplacement et l'ordre des trois premières rotules plastiques développées pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et ceux pour le deuxième et le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% sont absolument les mêmes.

- Dès qu'une des conditions (équilibre, écoulement et mécanisme) n'est pas satisfaite, en l'occurrence, la condition d'équilibre, dans ce cas, le processus est condamné à s'arrêter quelque soit le nombre de rotules plastiques développé. Cette situation est en fait expliquée par le développement d'un mécanisme élémentaire ou d'une ruine partielle.
- Les rotules plastiques formées au niveau des poutres du troisième cas en (BOA , BDSA) avec le taux d'armature de 2% , pourront être considérée comme bloquée (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les quatre rotules plastiques peuvent être considérées comme bloquées (figure 5-7-a et 5-8-b).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 28$. ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Cette dernière n'est pas satisfaite pour l'ensemble de ces cas.

5-2-3-3 -Synthèse :

- La rupture d'un poteau de rive n'entraîne pas l'écrasement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).
- Pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2%, la rupture d'un poteau n'entraîne aucune déformabilité du portique. De ce fait, l'endommagement est local car les quatre rotules développées considérées comme bloquées (le portique pouvant être considéré comme statique).
- Pour le quatrième et cinquième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3 et 4% respectivement aucune rotule plastique n'a été développée (tous les moments fléchissants restent inférieures aux moments plastiques correspondants), donc la totalité de la structure reste stable après la rupture du poteau.
- Les ruines partielles sont constituées de « vertical sway mechanism». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres, les poteaux restants intacts.

5-2-4- La rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T:

5-2-4-1- Image instantanée après l'endommagement:

-1^{er} cas : $A_s = A_{s \text{ min}}$:

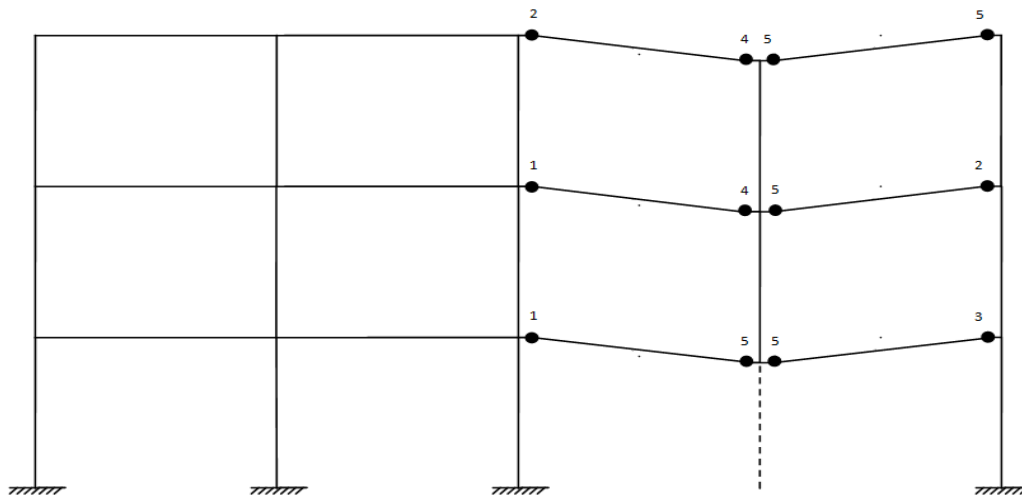
poteau $A_{s \text{ min}} = 0,8 \%$

poutre $A_{s \text{ min}} = 0,5 \%$

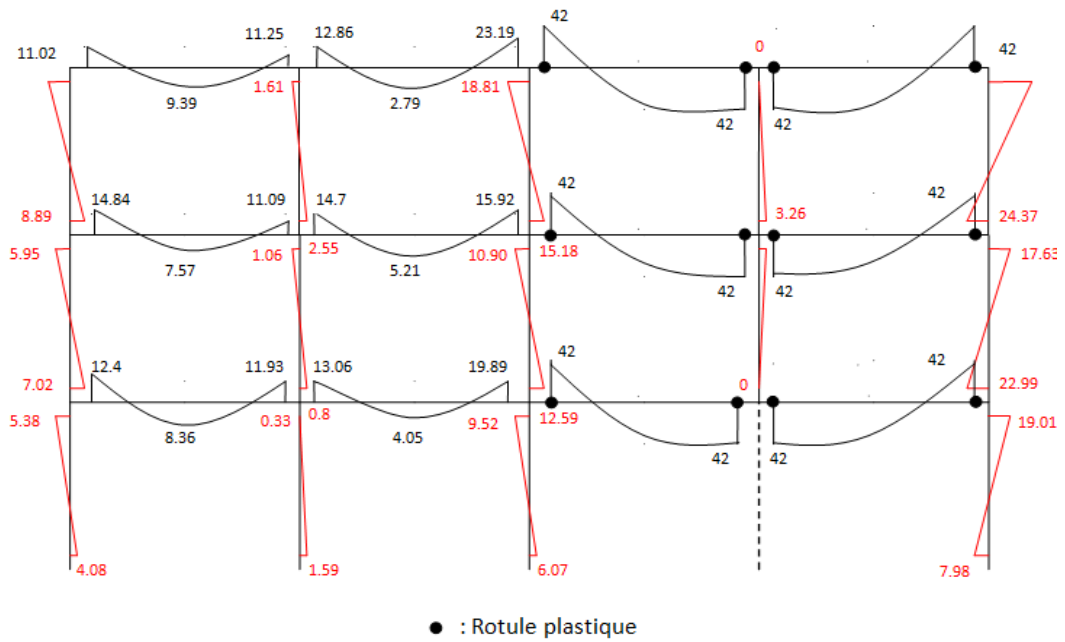
a)-**Béton ordinaire armée :**

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 234 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



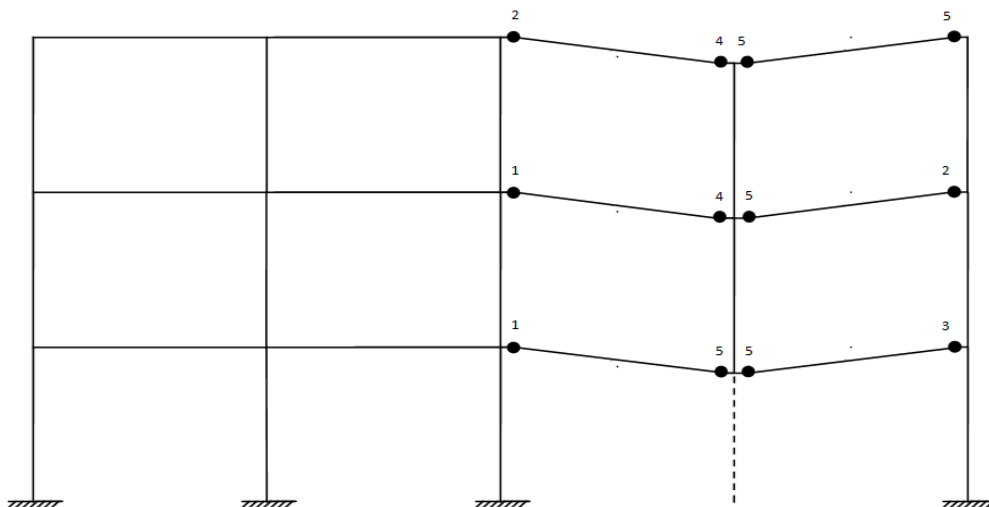
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive(kN.m)

Figure 5.23 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature deAs min

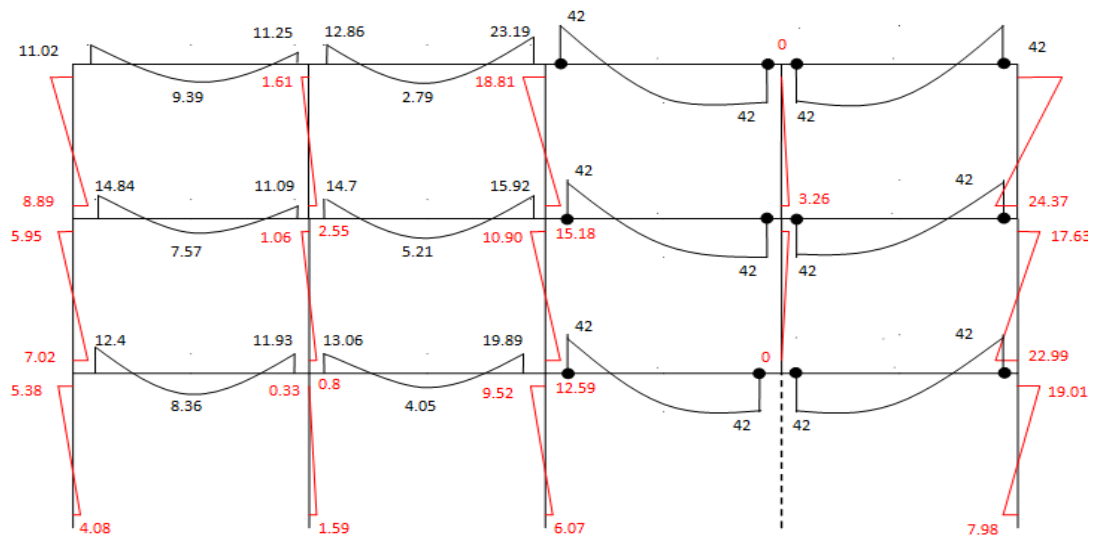
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 247 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



● : Rotule plastique

b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

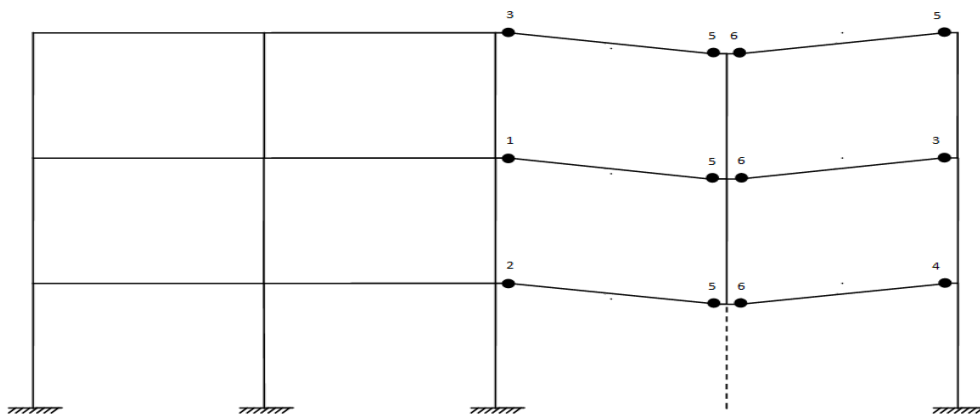
Figure 5.24 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de As min

-2^{ème} cas : $A_s = 1 \%$

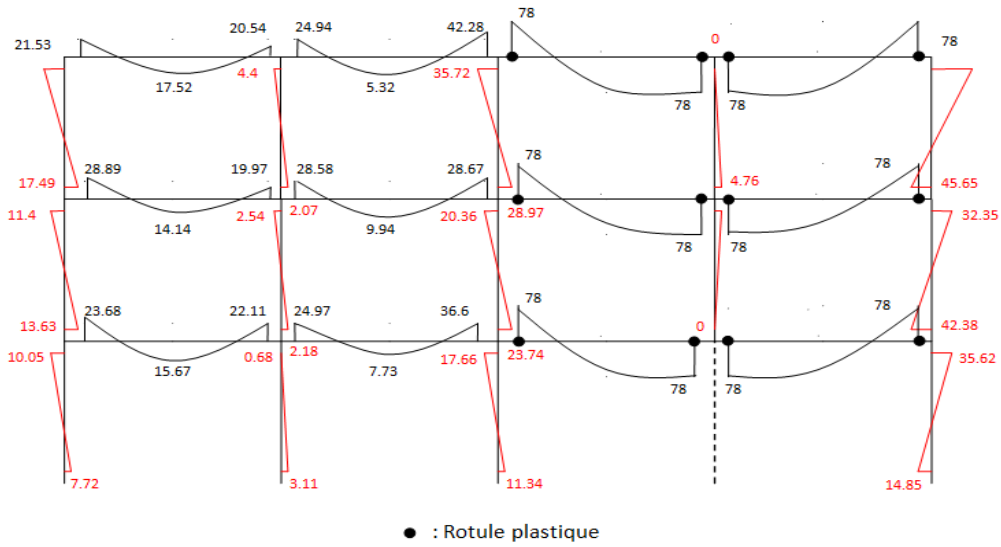
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 241 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



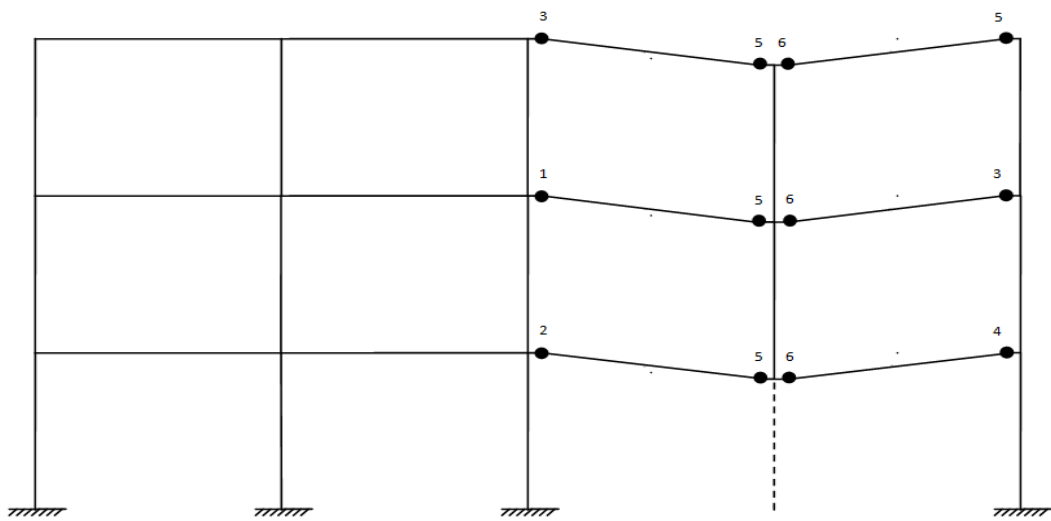
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.25 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%

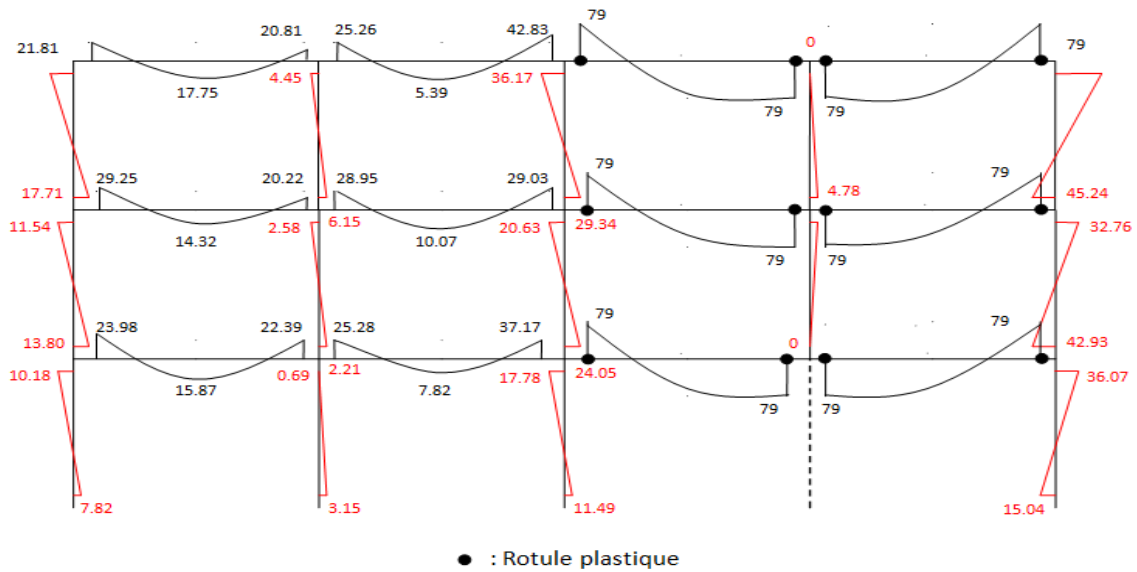
b)-Béton de sable armée :

$$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$$

$$M_{pc} = 255 \text{ kN.m}$$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

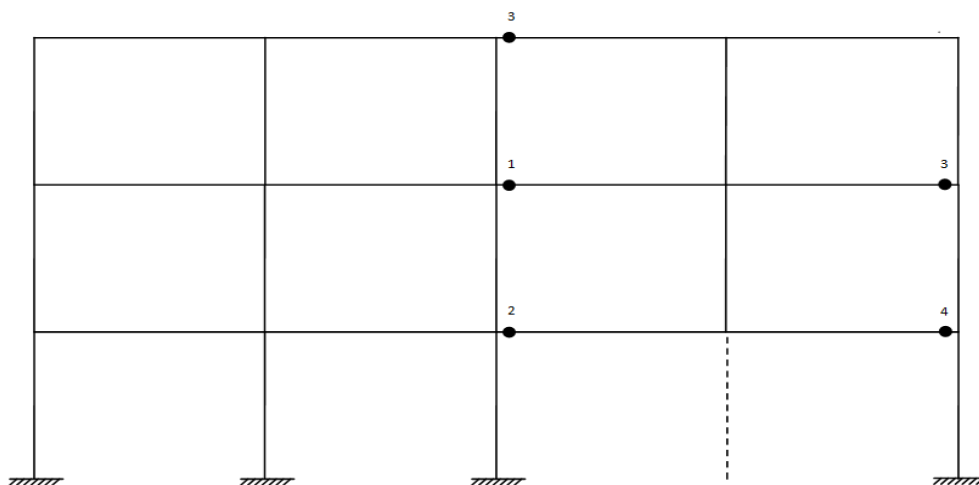
Figure 5.26 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%

-3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

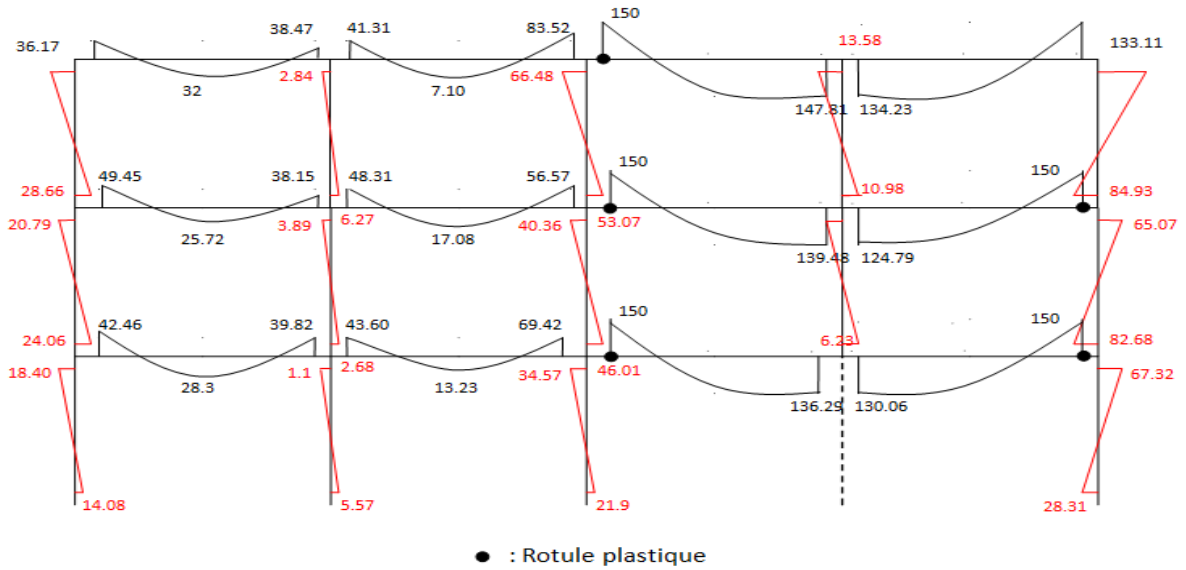
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 275 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



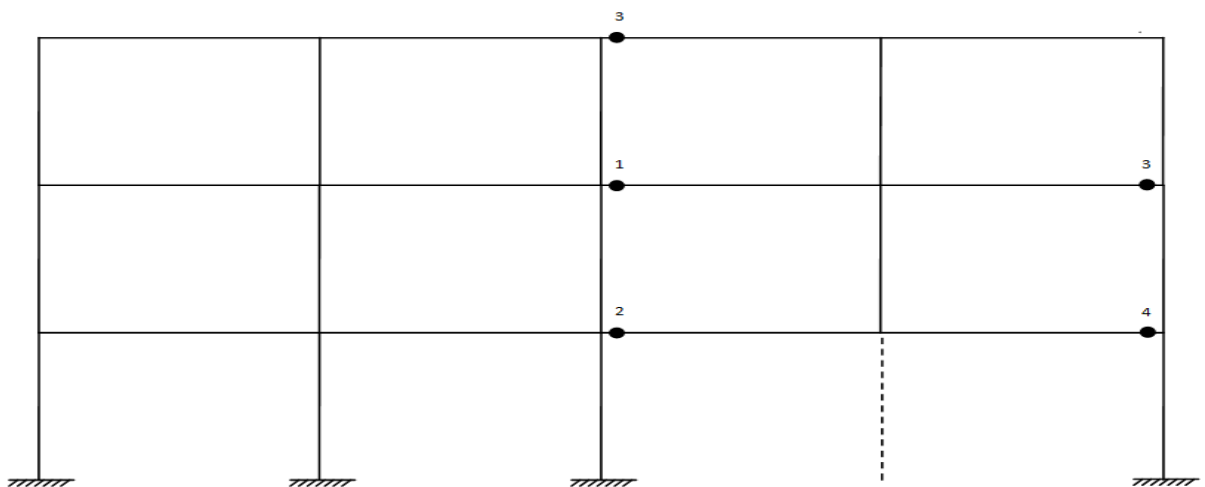
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.27: Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%

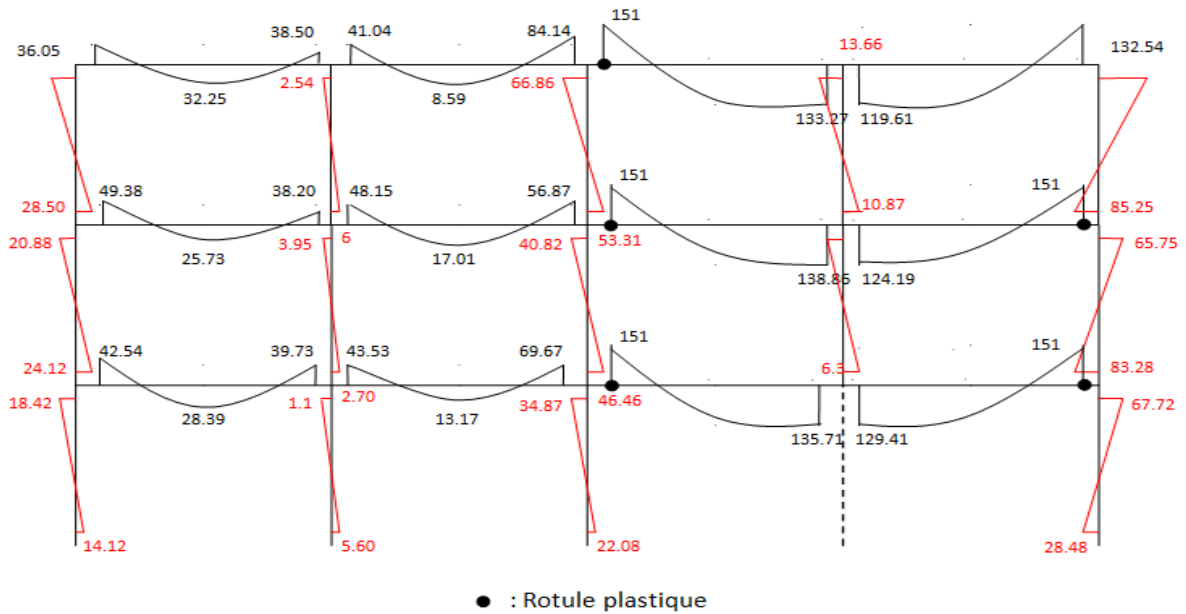
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 291 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

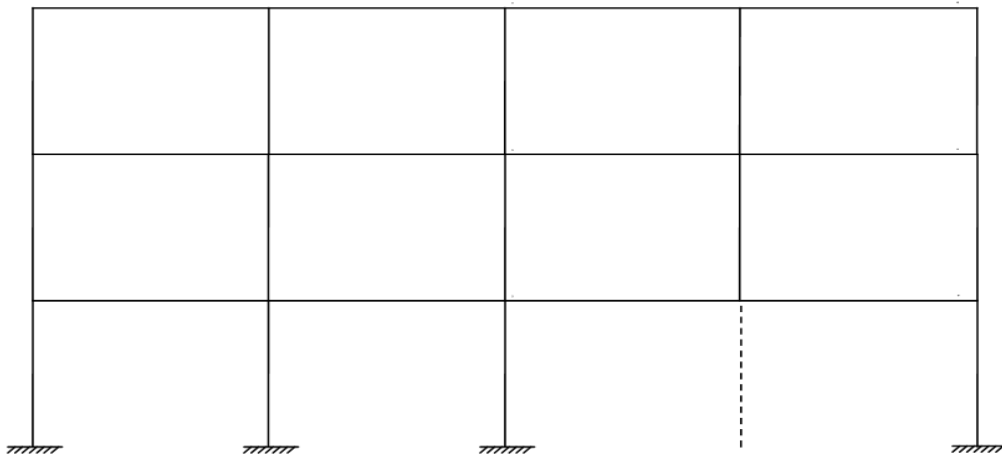
Figure 5.28 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%

-4^{ème} cas : $A_s = 3\%$

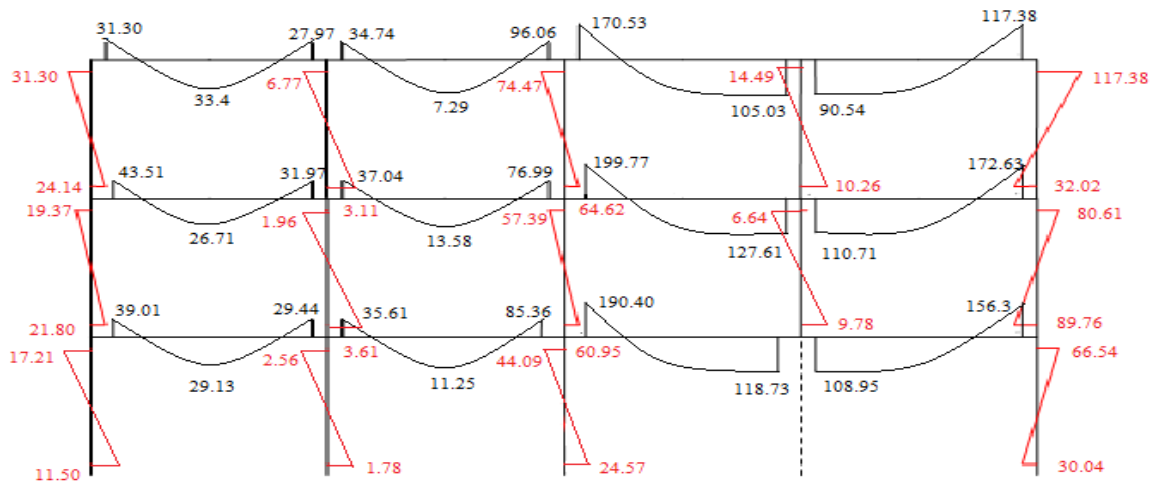
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 310 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



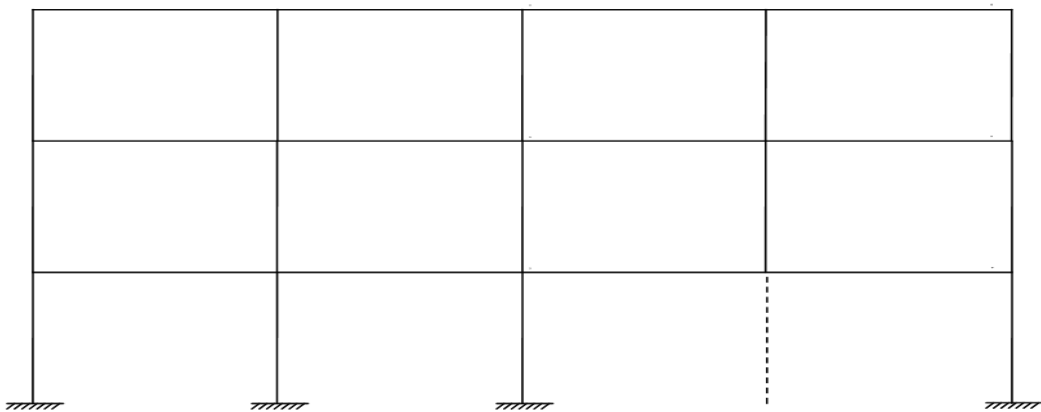
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.29 : Image instantanée après la rupture d'un poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%

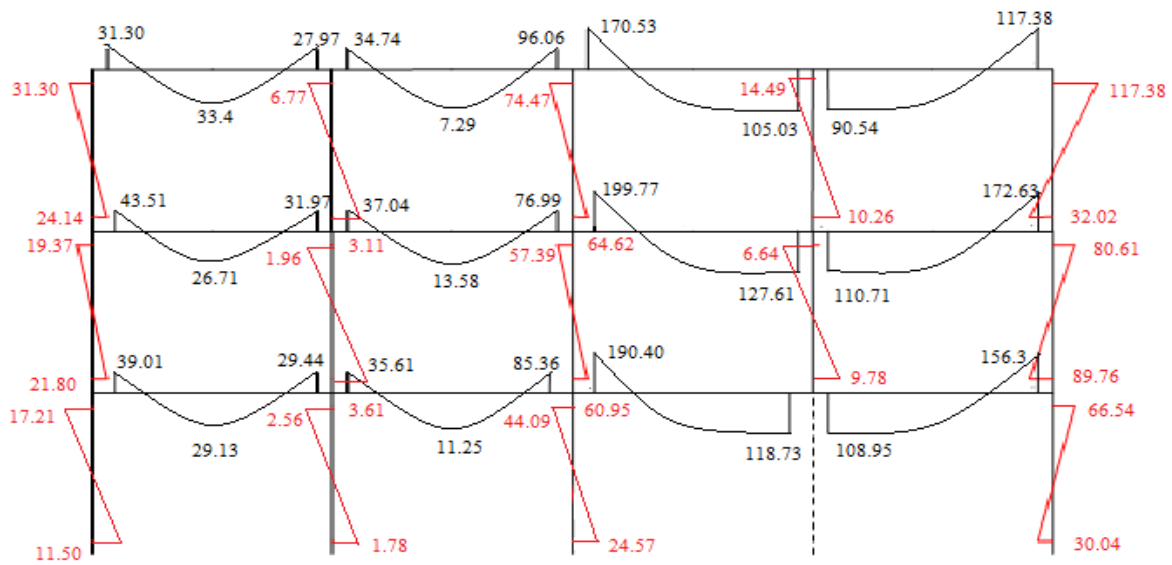
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 327 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

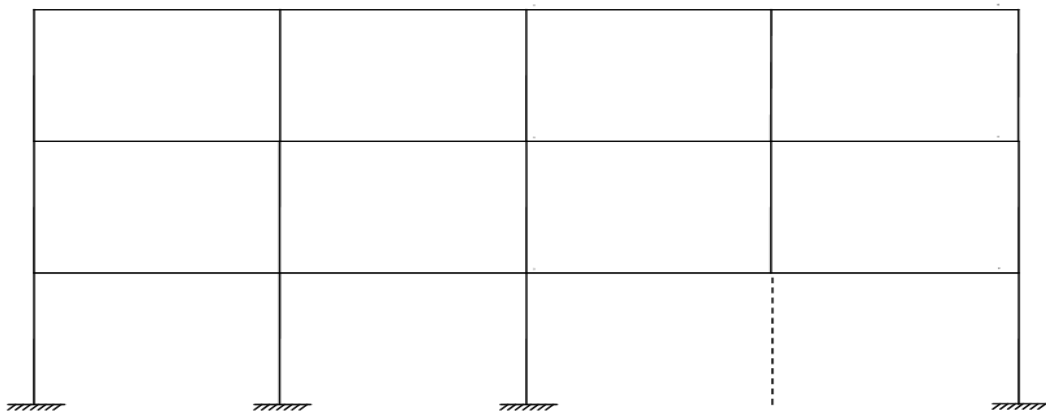
Figure 5.30 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3%

-5^{ème} cas : $A_s = 4\%$

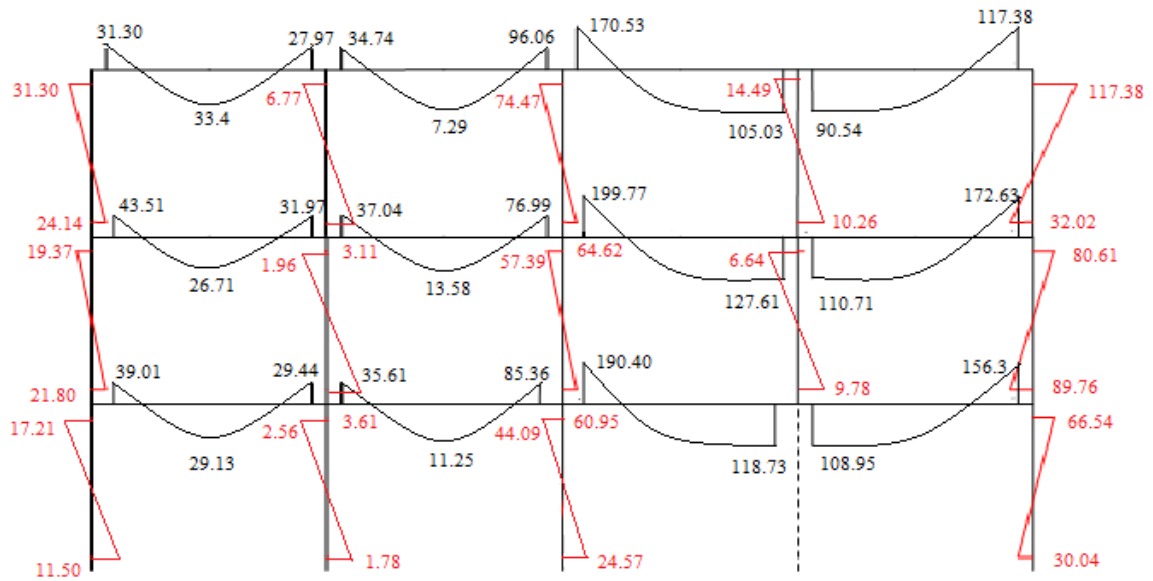
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 294$ kN.m

$M_{pc} = 345$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



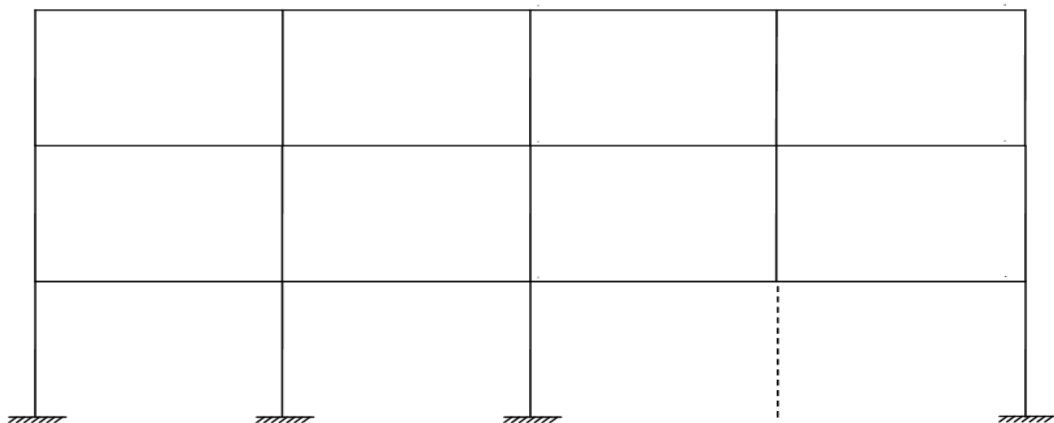
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.31 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%

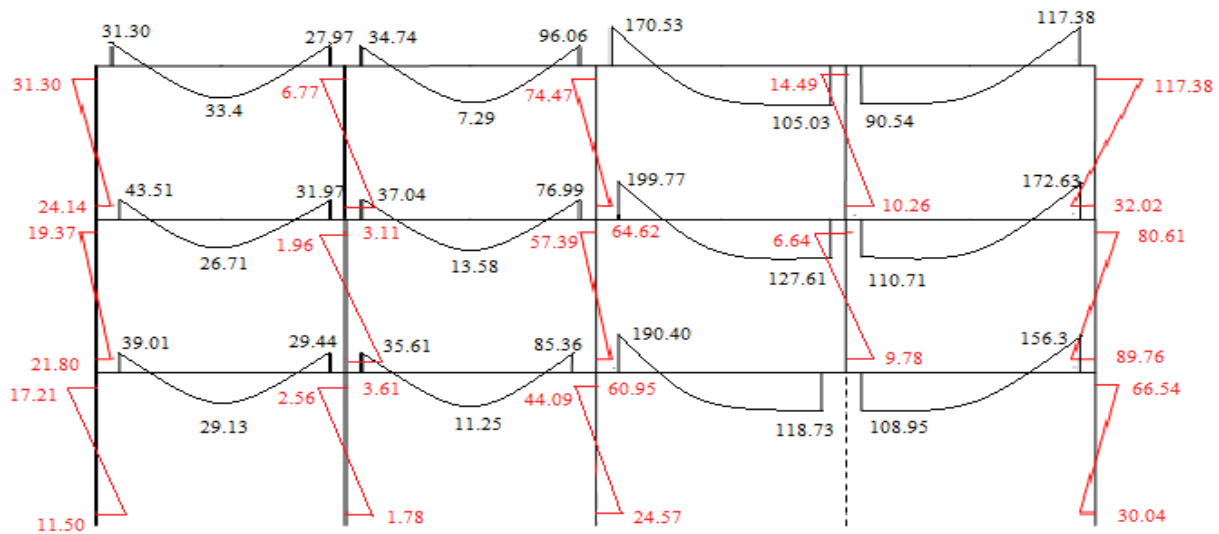
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 363 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.32 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 4%

5-2-4-2- Principales constatations:

L'analyse du portique **P 3N4T** après la rupture d'un poteau voisin de rive fait ressortir les constatations suivantes :

- Le nombre développé de rotules plastiques juste après l'endommagement pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min, et le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% est de douze les cinq dernières rotules apparaissant simultanément (figure 5-23 et 5-24 et 5-25 et 5-26) mais pour les troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre est réduit à cinq rotules seulement (figures 5-27 et 5-28).
- L'emplacement et l'ordre des cinq premières rotules plastiques développées pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et ceux pour le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% et le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% sont absolument les mêmes.
- Dès qu'une des conditions (équilibre, écoulement et mécanisme) n'est pas satisfaite, en l'occurrence, la condition d'équilibre, dans ce cas, le processus est condamné à

s'arrêter quelque soit le nombre de rotules plastiques développé. Cette situation est en fait expliquée par le développement d'un mécanisme élémentaire ou d'une ruine partielle.

- Les rotules plastiques formées au niveau des poutres du troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% pourront être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les cinq rotules plastiques considérées comme bloquées (figure 5-27-a et 4-28-a).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 37$. ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Cette dernière n'est pas satisfaite pour l'ensemble des cas.

5-2-4-3- Synthèse :

- La rupture d'un poteau voisin de rive n'entraîne pas l'écrasement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).
- Pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , La rupture d'un poteau n'entraîne aucune déformabilité du portique. De ce fait, L'endommagement est local car les cinq rotules développées pouvant être considérées comme bloquées (le portique pouvant être considéré comme statique).
- Pour le quatrième et cinquième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3 et 4% respectivement aucune rotule plastique n'a été développée, donc la totalité de la structure reste stable après la rupture du poteau.
- Les ruines partielles sont constituées de « beam mechanisms ». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres, les poteaux restants intacts.

5-2-5-La rupture d'un poteau de rive du P 3N 4T :

5-2-5-1- Image instantanée après l'endommagement:

-1^{er} cas : $A_s = A_{s \text{ min}}$:

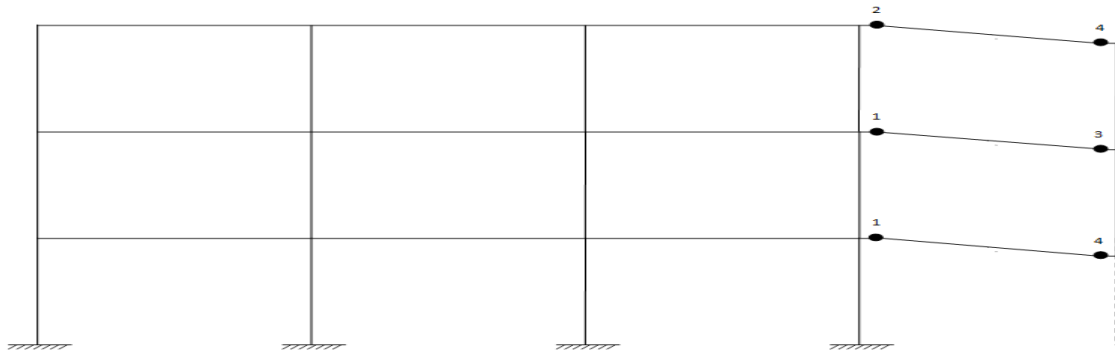
poteau $A_{s \text{ min}} = 0,8 \%$

poutre $A_{s \text{ min}} = 0,5 \%$

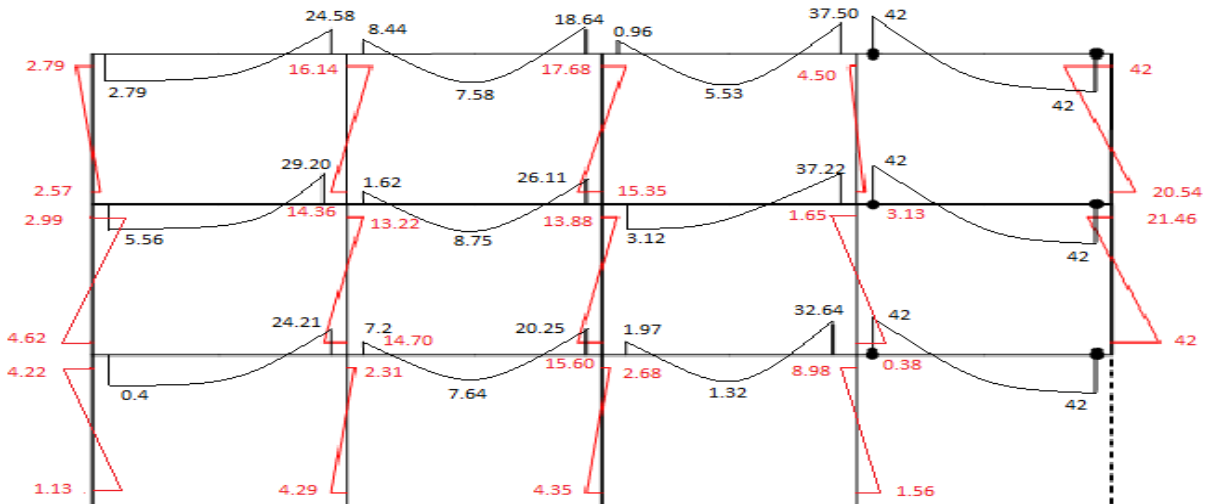
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 234 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



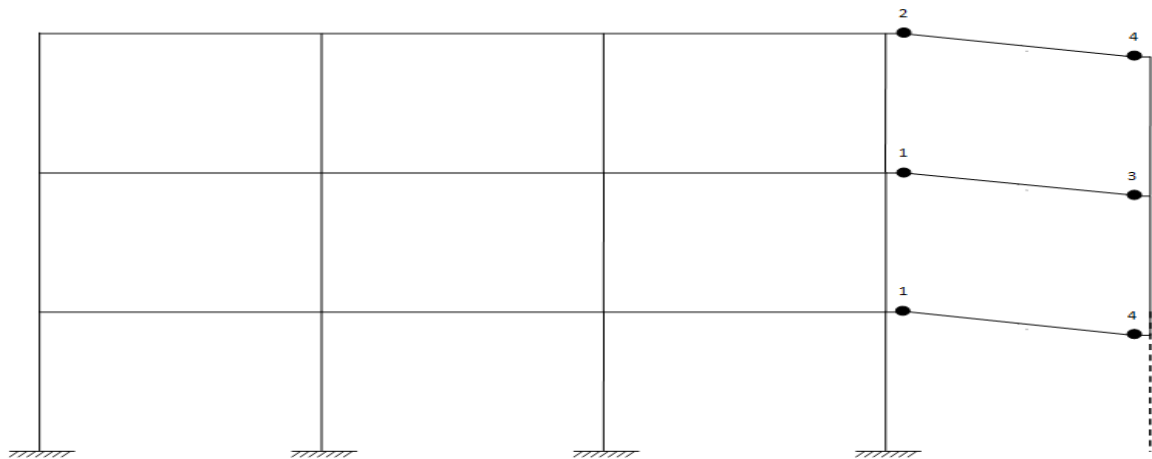
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.33 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de $A_{s \text{ min}}$

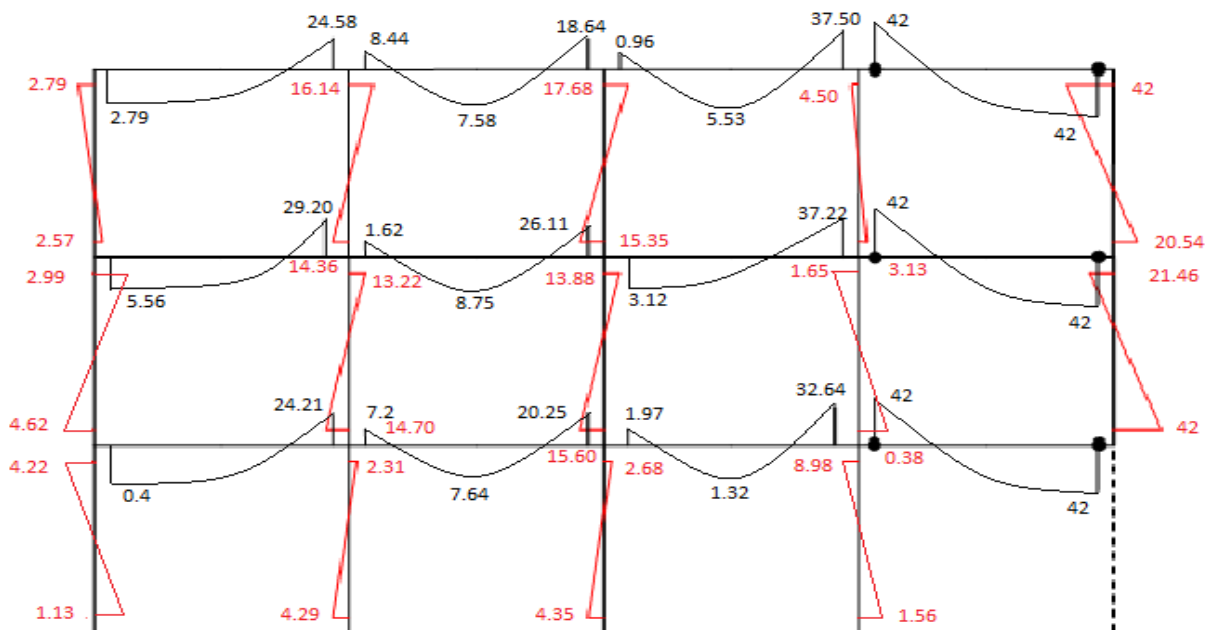
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 247 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

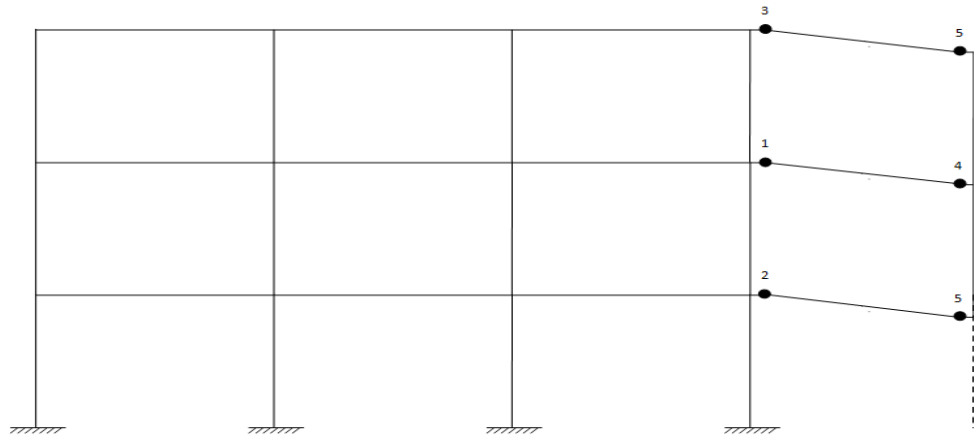
Figure 5.34 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min

-2^{ème} cas : $A_s = 1\%$

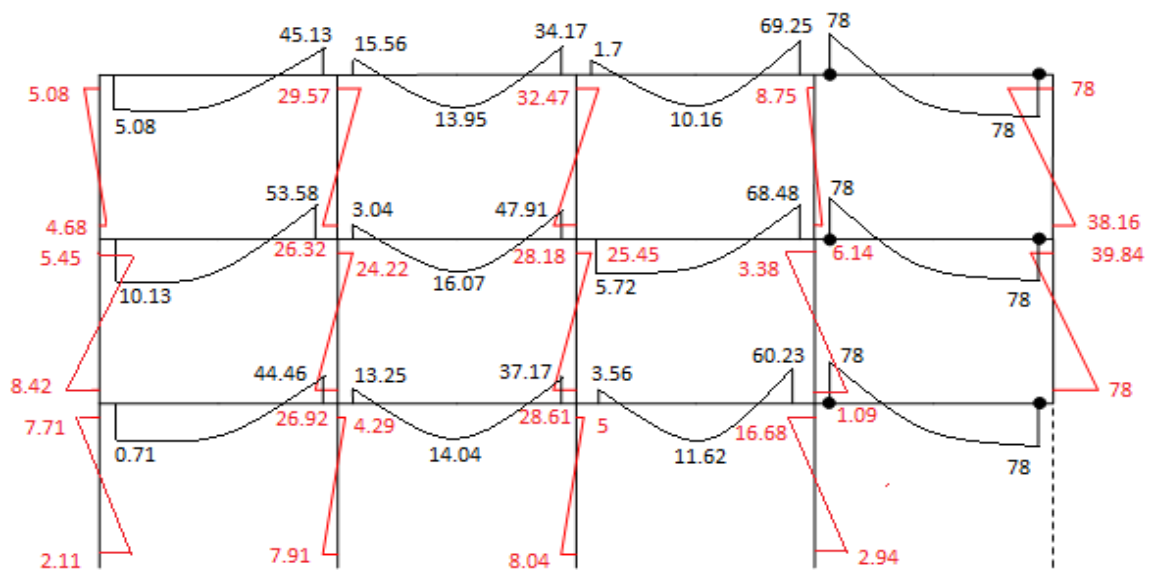
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 241 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 3N 4T



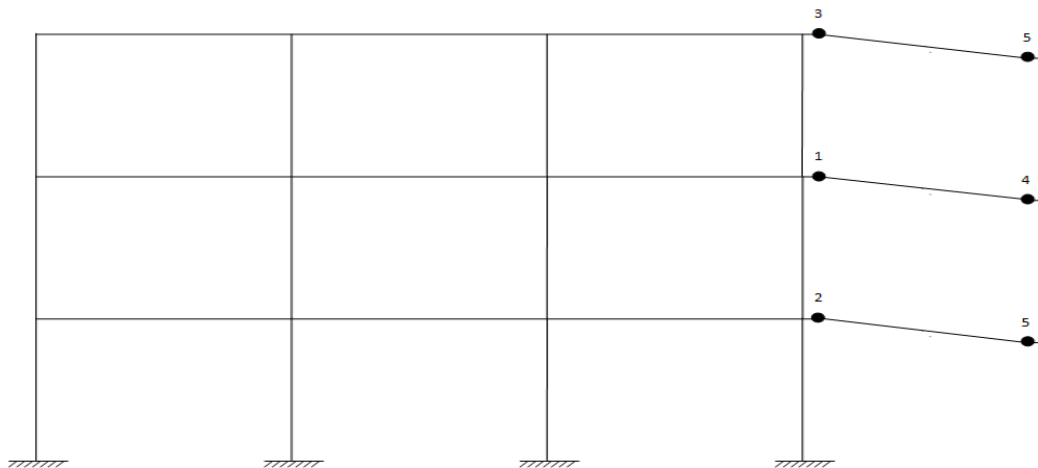
b) diagramme des moments fléchissants du P 3N 4T après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.35: Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%

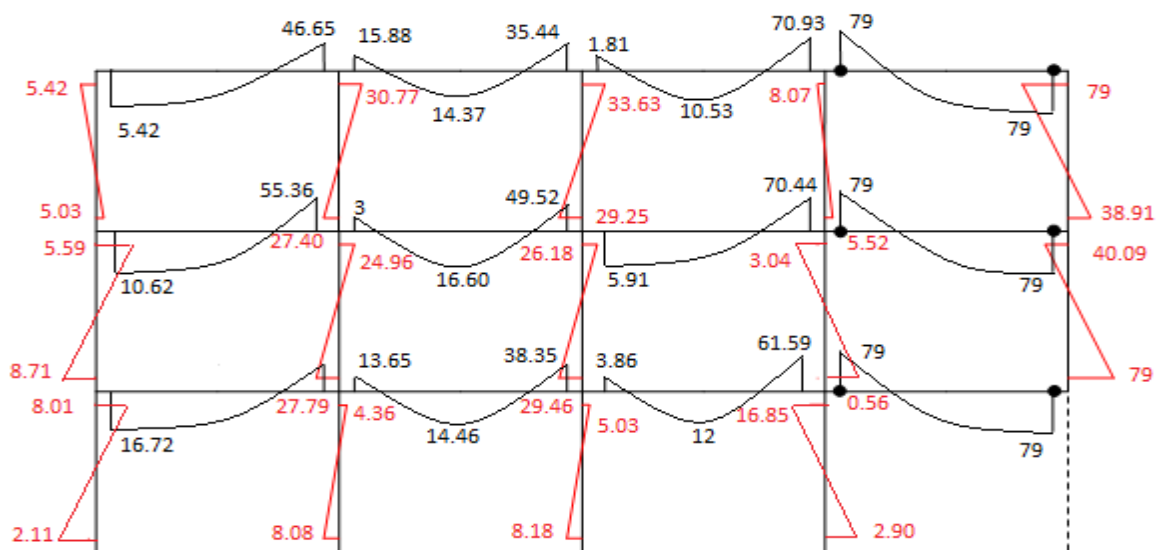
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 255 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

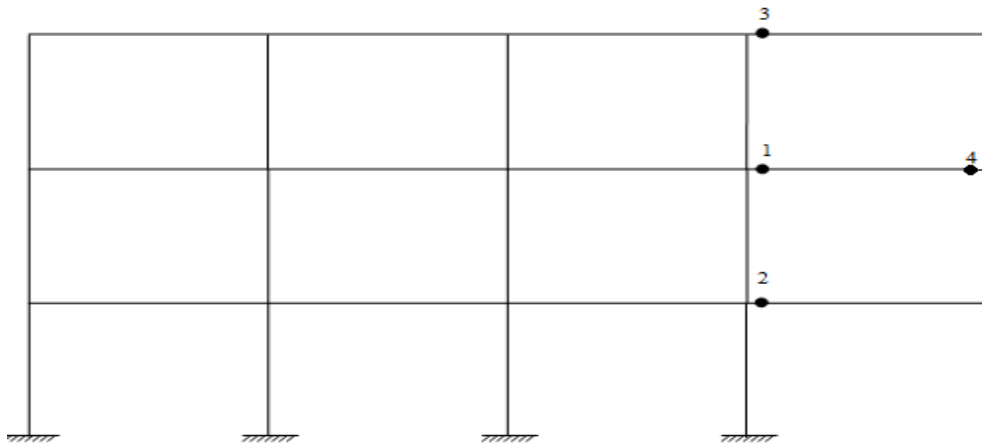
Figure 5.36 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 1%

-3^{ème} cas : $A_s = 2 \%$

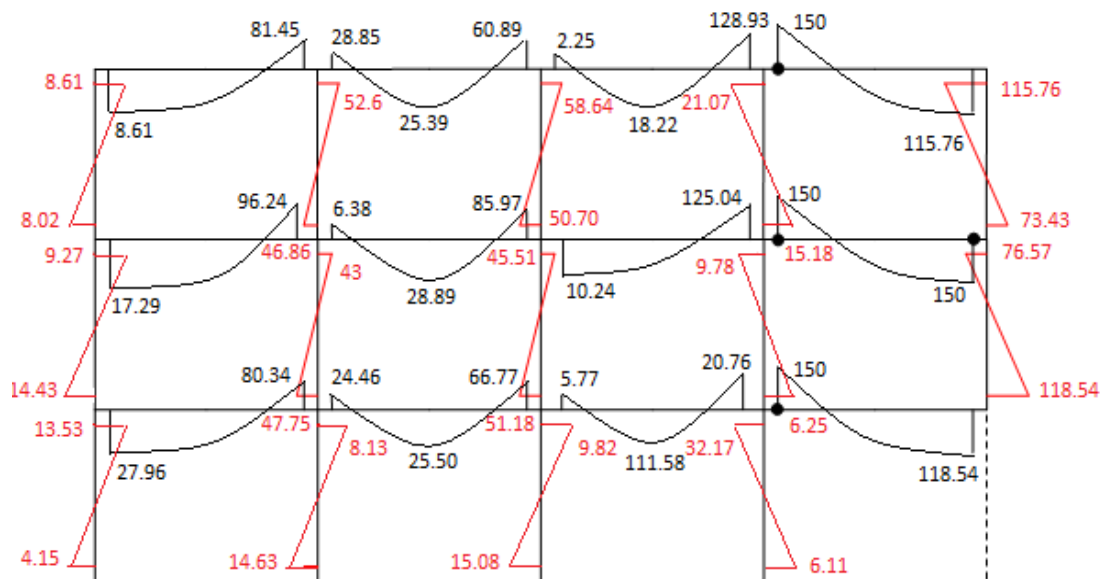
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 275 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



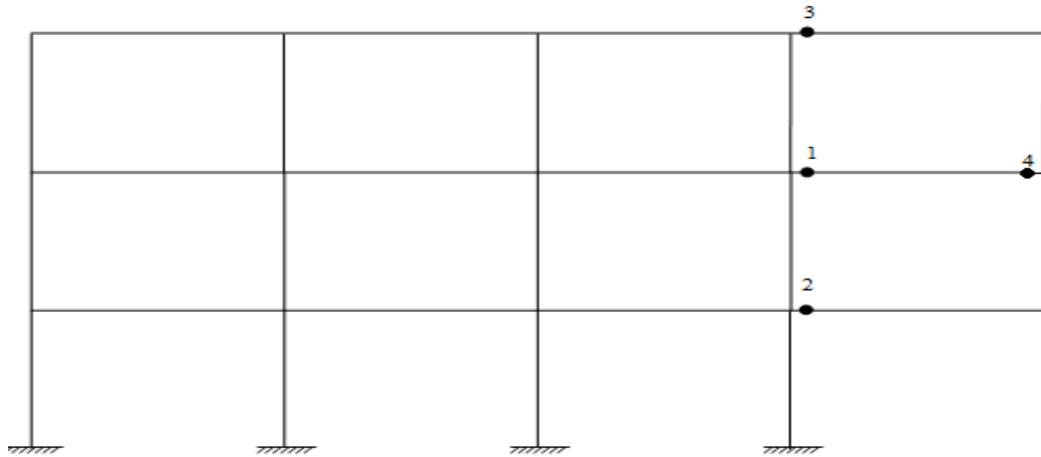
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.37 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%

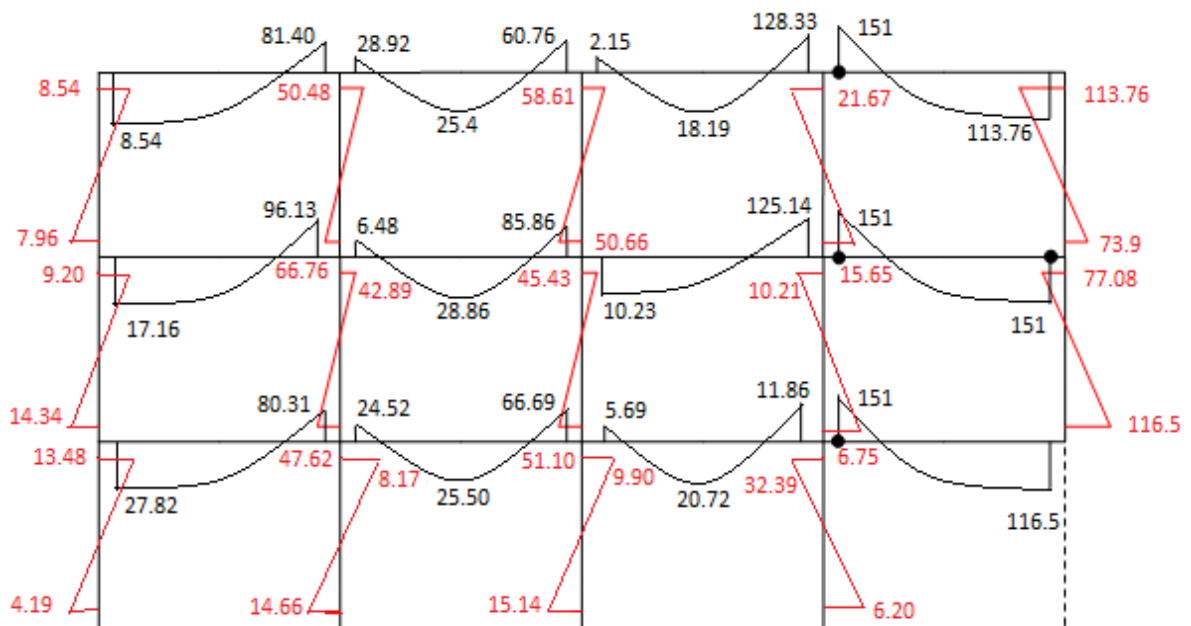
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 291 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

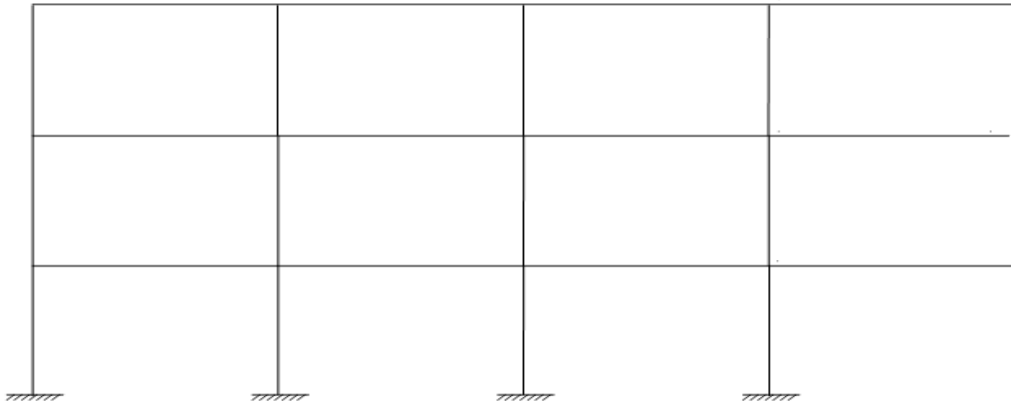
Figure 5.38 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%

-4^{ème} cas : $A_s = 3 \%$

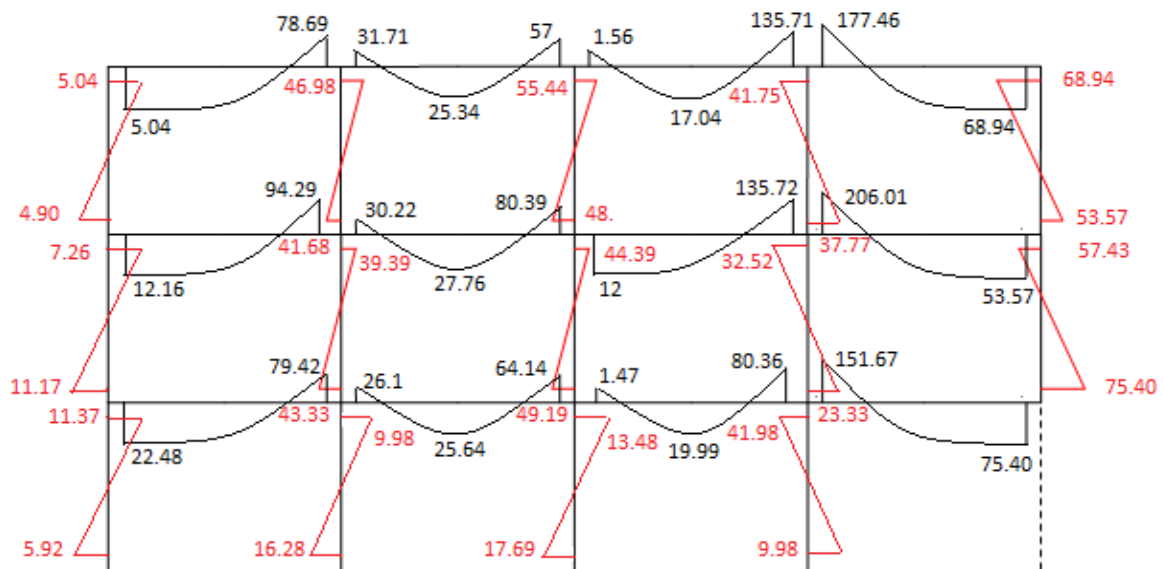
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 310 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



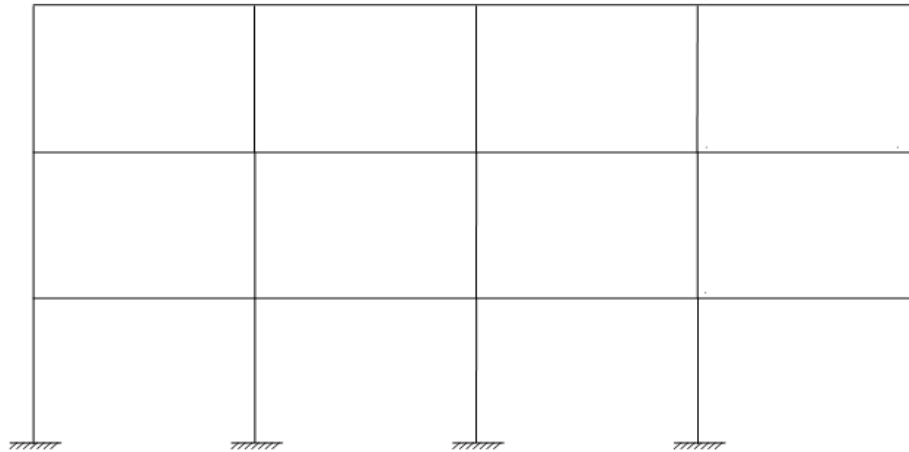
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.39 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BOA) avec le taux d'armature de 3%

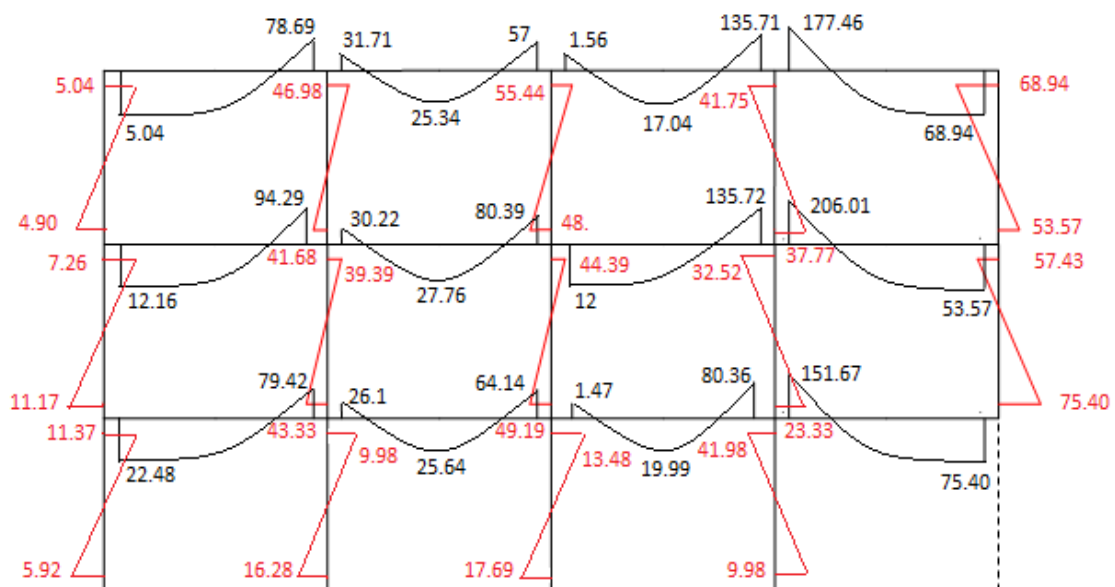
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 327 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

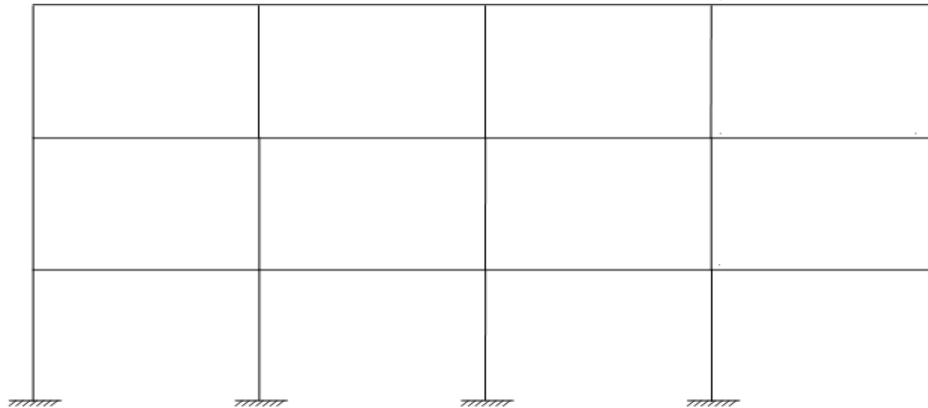
Figure 5.40 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en (BDSA) avec le taux d'armature de 3%

-5^{ème} cas : $A_s = 4\%$

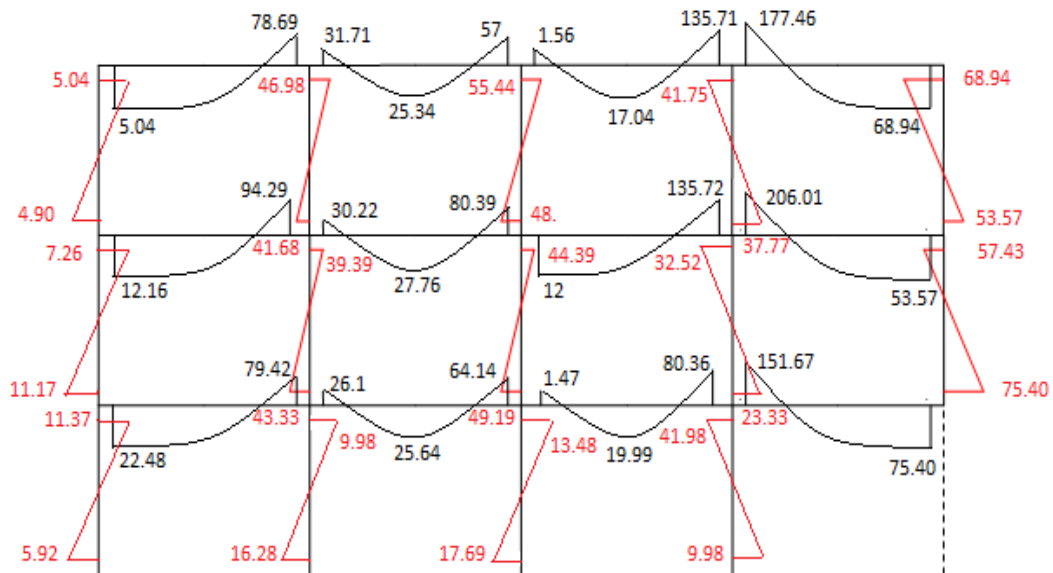
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 345 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



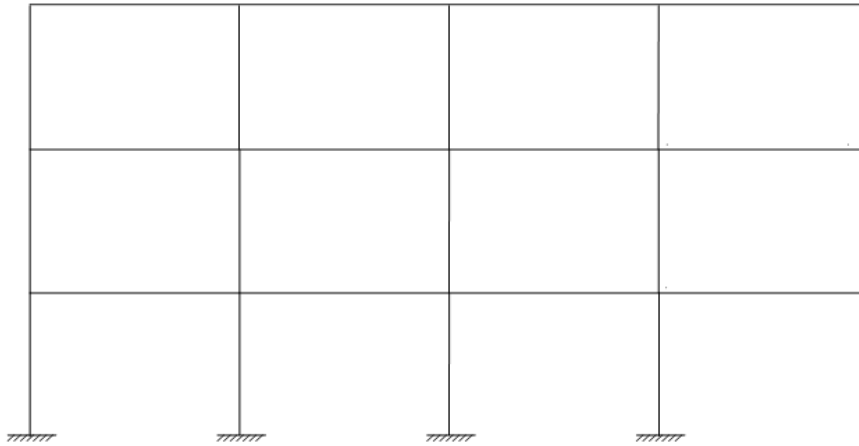
b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.41 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%

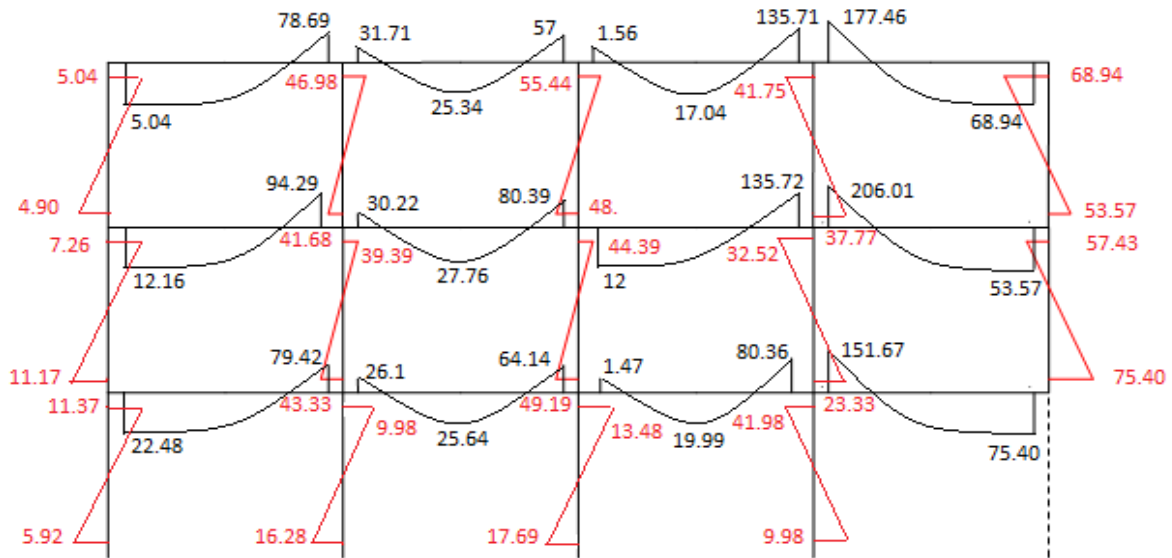
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 363 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 3N 4T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 3N 4T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.42 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 3N 4T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%

5-2-5-2- Principales constatations :

L'analyse du portique **P 3N4T** après la rupture du poteau de rive fait ressortir les constatations suivantes :

- Les rotules plastiques se sont développées uniquement au niveau des poutres.
- Le nombre développé de rotules plastiques juste après l'endommagement pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% est de six les deux dernières rotules apparaissant simultanément (figure 5-31 et 5-34) mais pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre est réduit à quatre rotule (figures 5-37 et 5-38).
- L'emplacement et l'ordre des quatre premières rotules plastiques développées pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et ceux pour le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% et le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% sont absolument les mêmes.
- Dès qu'une des conditions (équilibre, écoulement et mécanisme) n'est pas satisfaite, en l'occurrence, la condition d'équilibre, dans ce cas, le processus est condamné à s'arrêter quelque soit le nombre de rotules plastiques développé. Cette situation est en fait expliquée par le développement d'un mécanisme élémentaire ou d'une ruine partielle.
- Les quatre rotules plastiques du troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% pourront être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas les quatre rotules plastiques pouvant être considérées comme bloquées (figure 5-37-a et 5-38-a).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 37$. ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Cette dernière n'est pas satisfaite pour l'ensemble de ces cas.

5-2-5-3- Synthèse :

- La rupture d'un poteau de rive n'entraîne pas l'écroulement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).
- Pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2%, la rupture d'un poteau n'entraîne aucune déformabilité du portique. De ce fait, l'endommagement est local car les trois rotules développées considérées comme bloquées (le portique pouvant être considéré comme statique).
- Pour le quatrième et cinquième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3 et 4% respectivement aucune rotule plastique n'a été développée, donc la totalité de la structure reste stable après la rupture du poteau.
- Les ruines partielles sont constituées de « vertical sway mechanism ». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres, les poteaux restants intacts.

5-2-6 -La rupture d'un poteau voisin de rive du P 4N 3T:

5-2-6-1- Image instantanée après l'endommagement:

-1^{er} cas : $A_s = A_{s \min}$:

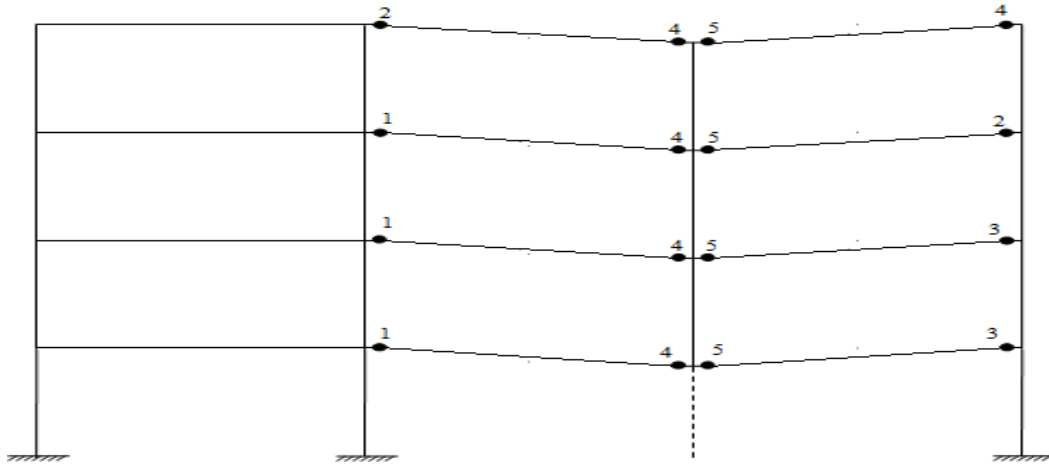
poteau $A_{s \min} = 0,8 \%$

poutre $A_{s \min} = 0,5 \%$

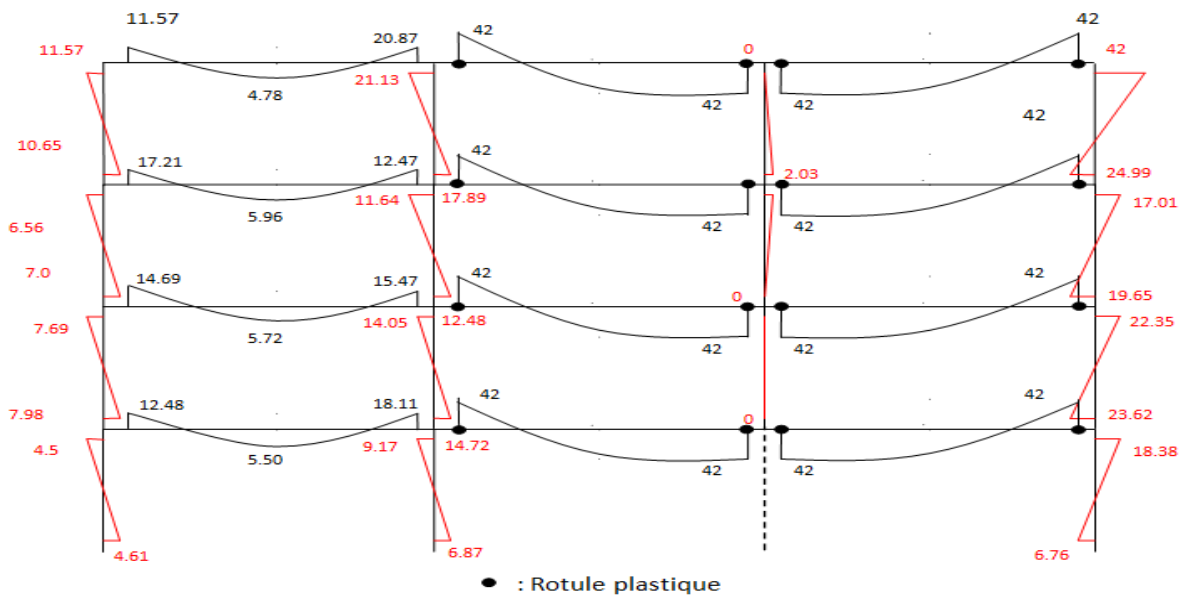
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 274 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



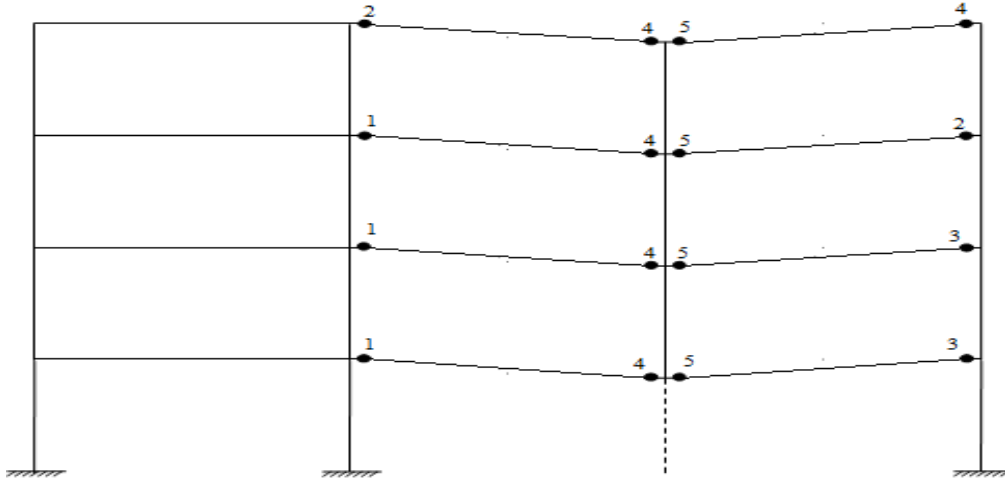
a) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.43 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de A_s min

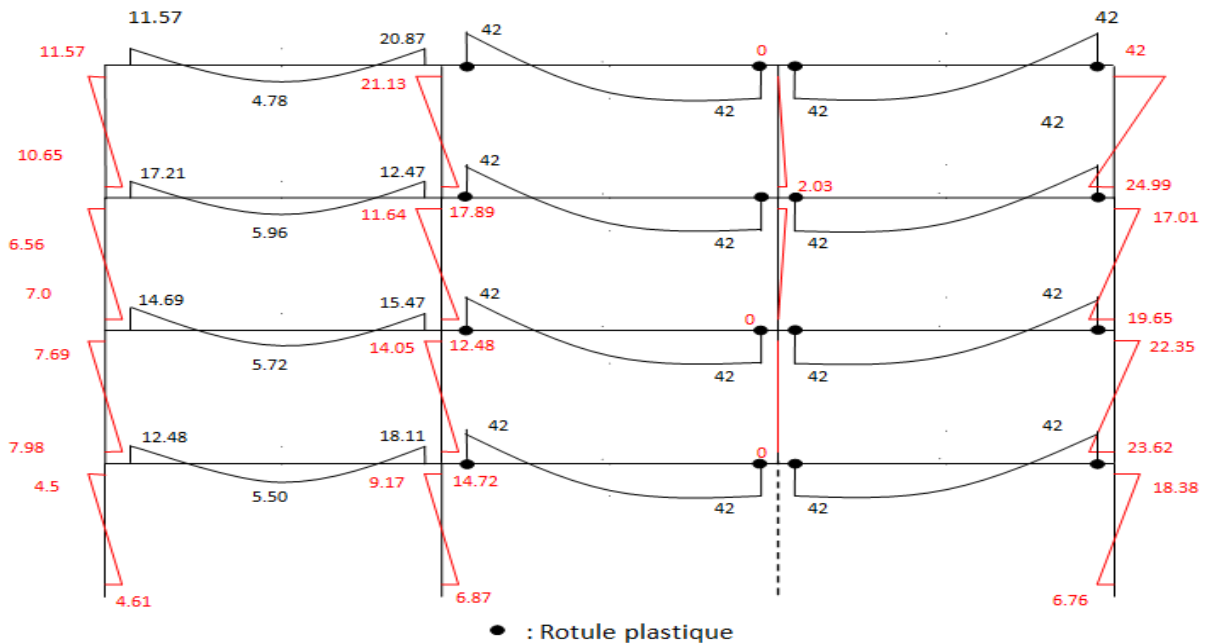
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 292 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



● : Rotule plastique

a) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive

(kN.m)

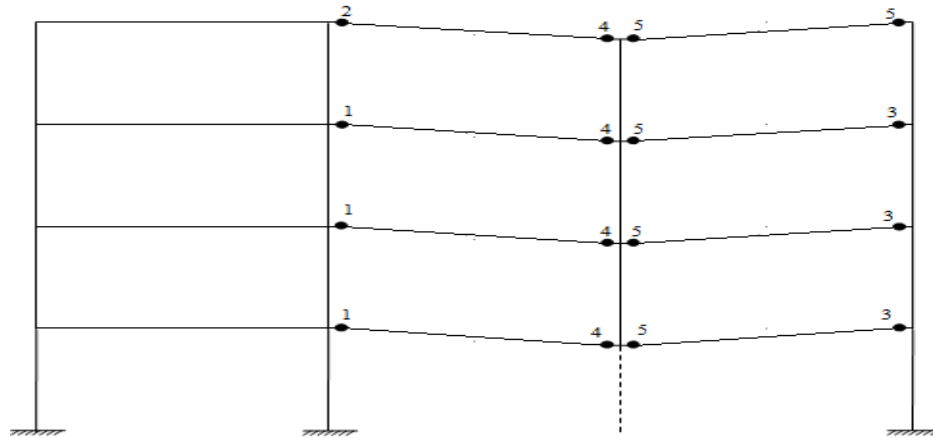
Figure 5-44 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min

-2^{ème} cas : $A_s = 1 \%$

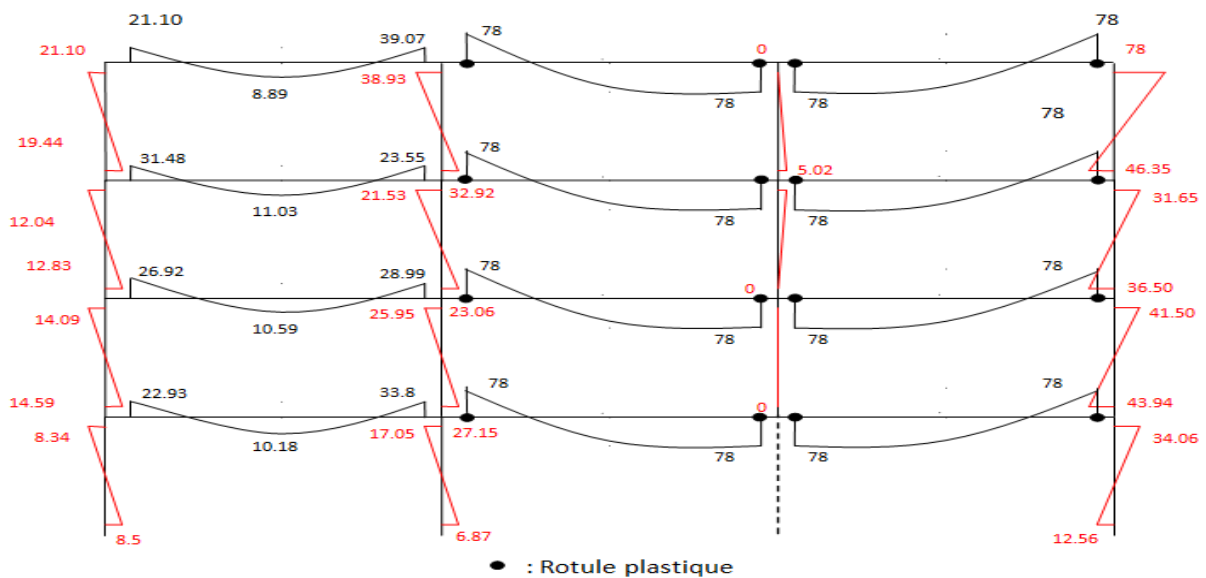
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 78 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 280 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 4N 3T



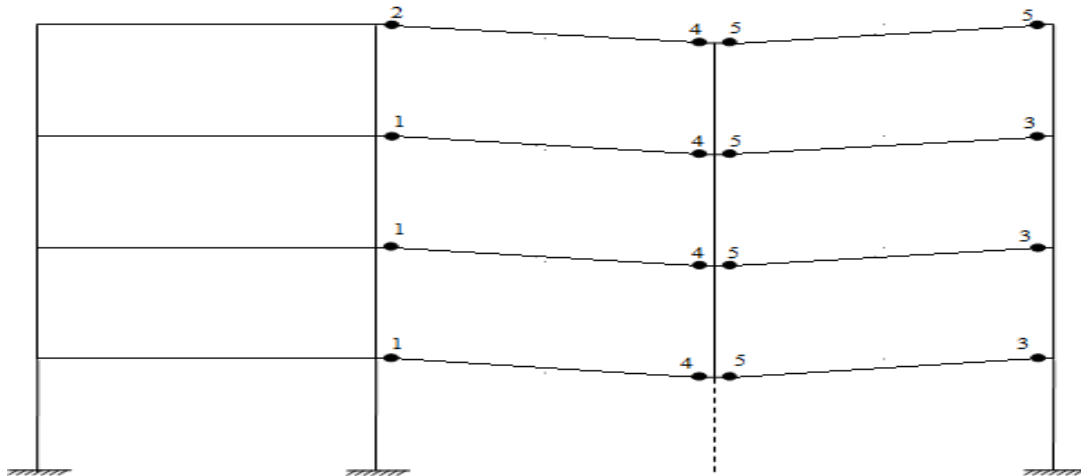
a) diagramme des moments fléchissants du P 4N 3T après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.45 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 1%

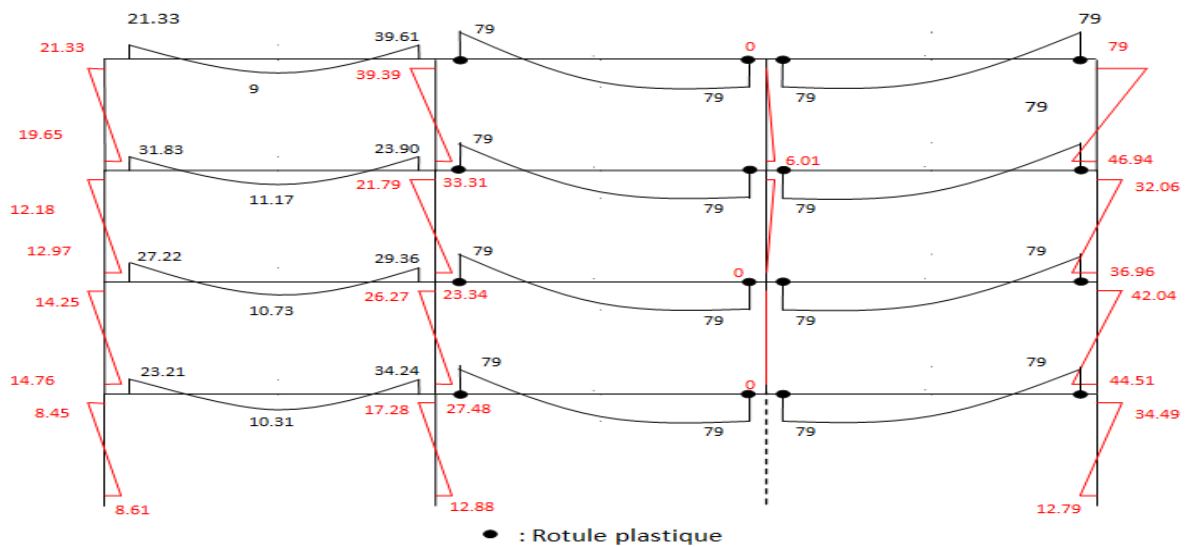
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 298 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



a) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

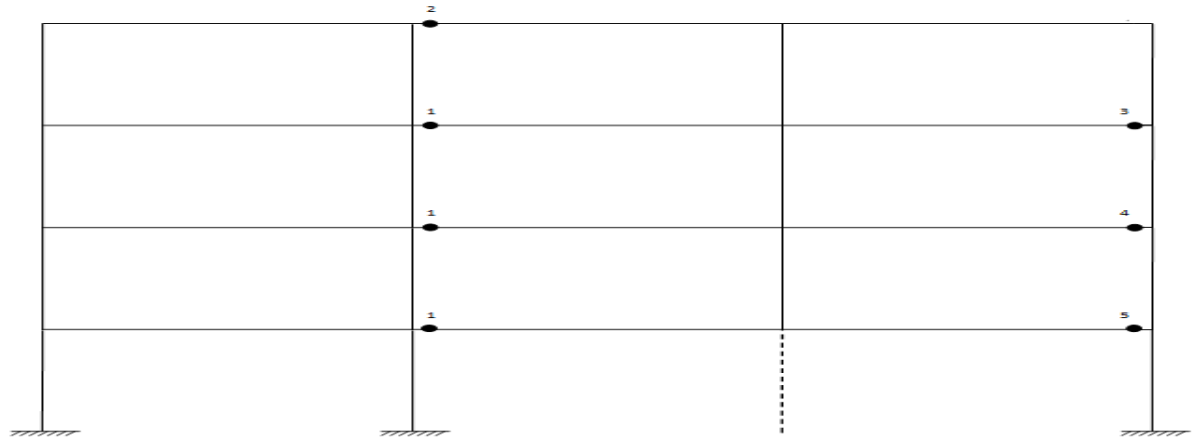
Figure 5.46 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1%

-3^{ème} cas : $A_s = 2 \%$

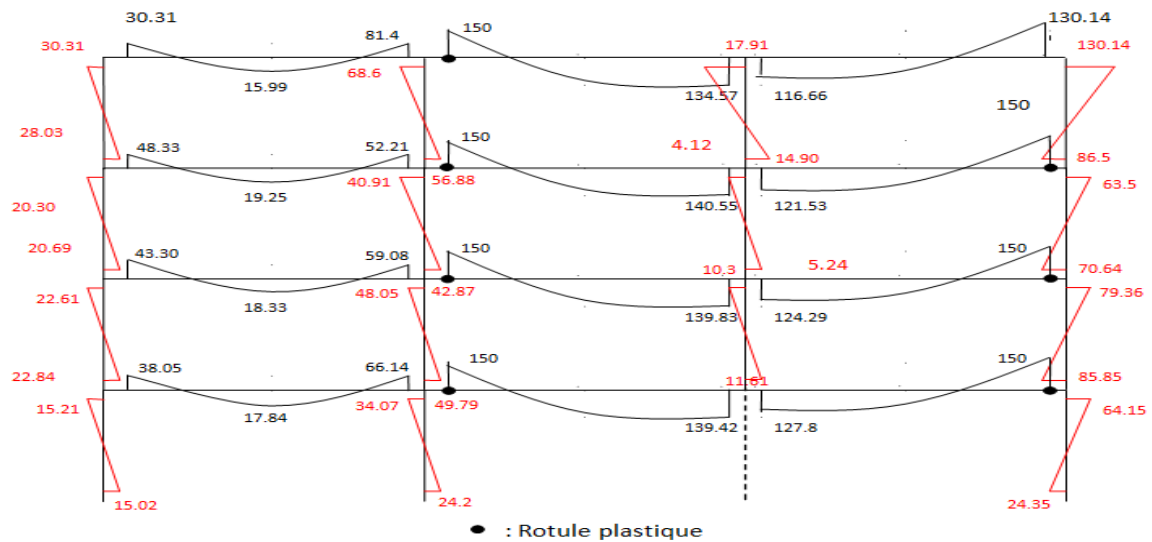
a)-**Béton ordinaire armée :**

$M_{pb} = 150 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 311 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



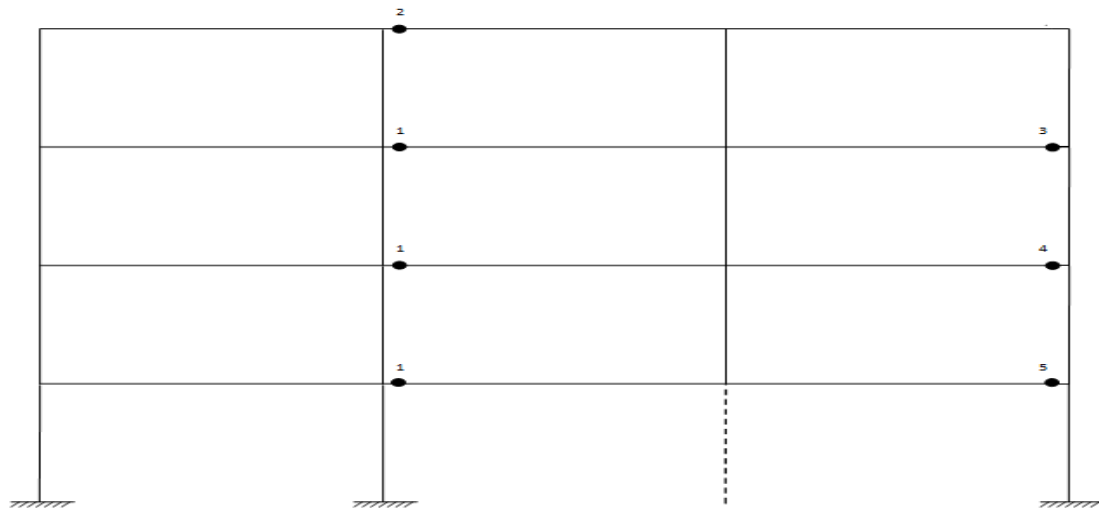
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.47 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 2%

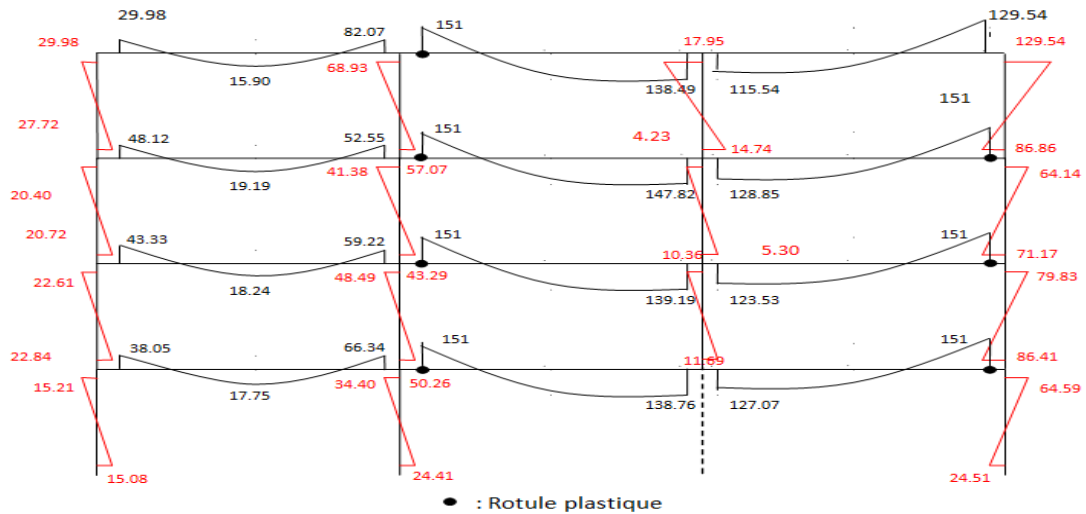
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 332 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

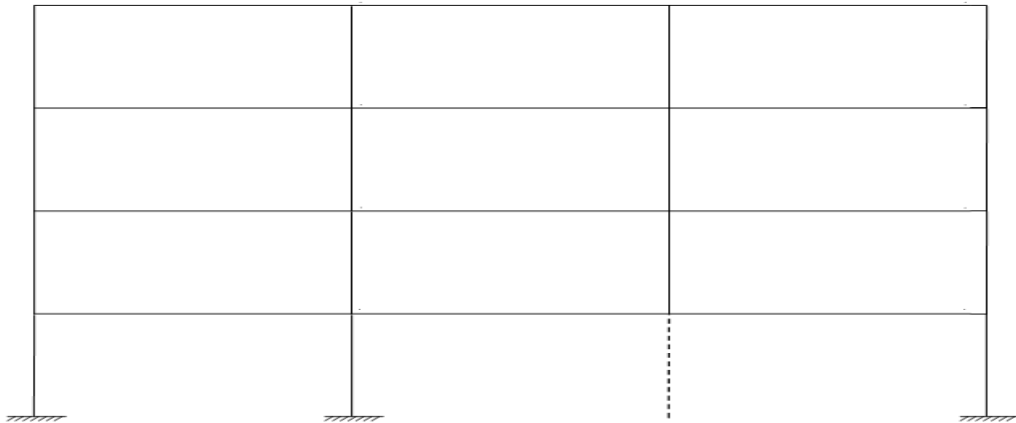
Figure 5.48 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 2%

-4^{ème} cas : $A_s = 3\%$

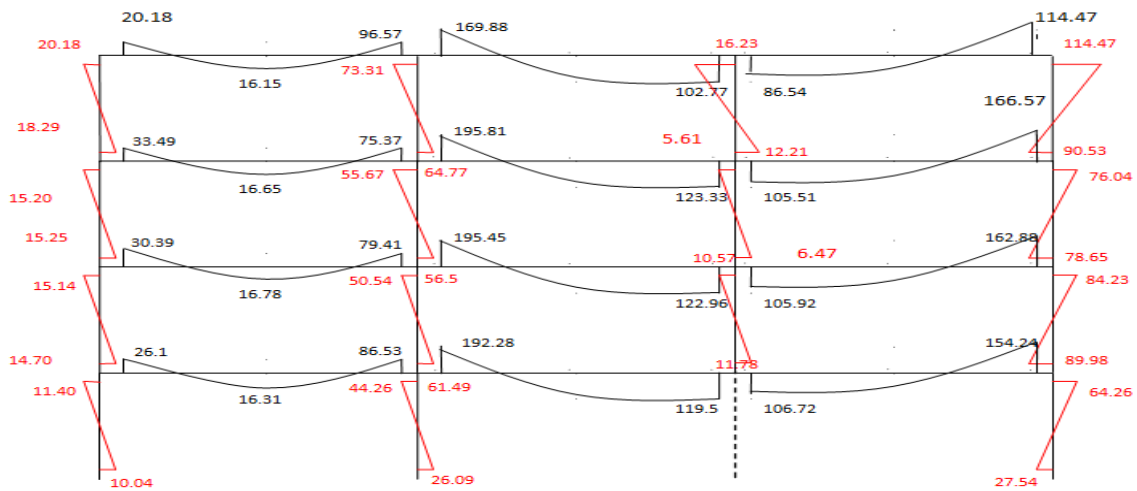
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 343 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



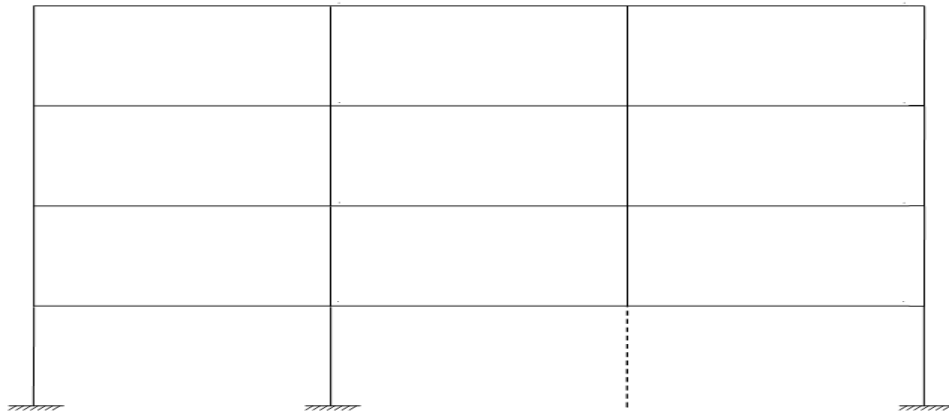
a) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.49 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 3%

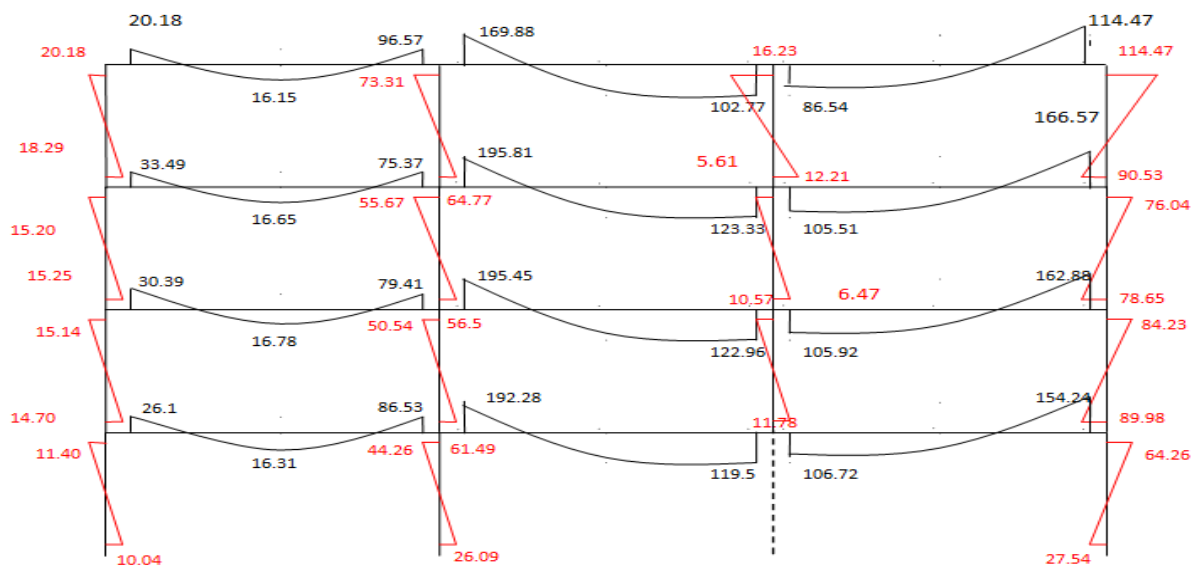
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 366 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

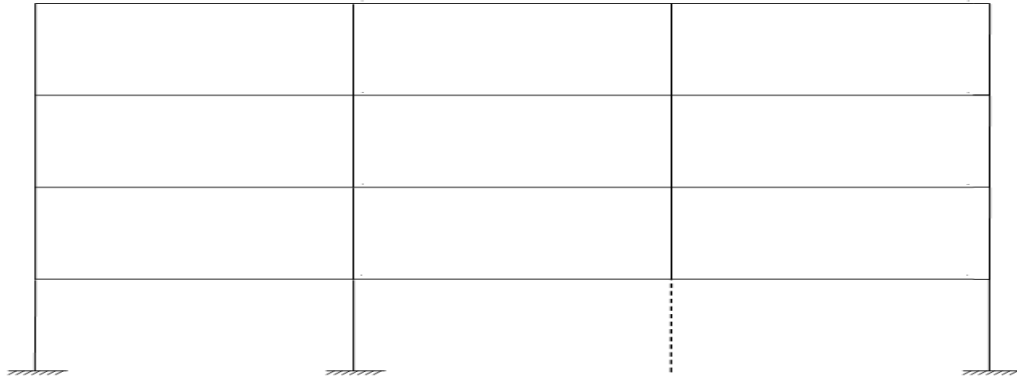
Figure 5.50: Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%

-5^{ème} cas : $A_s = 4\%$

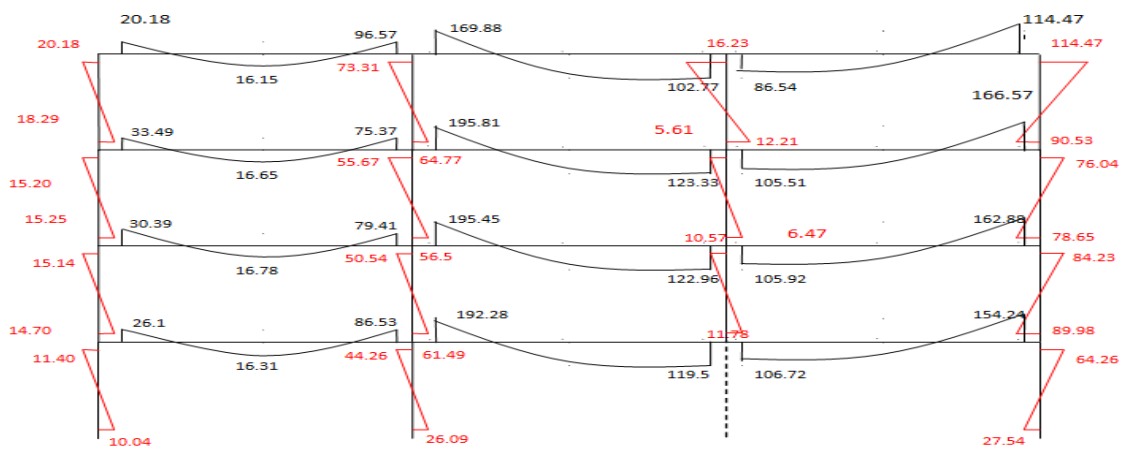
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 377 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



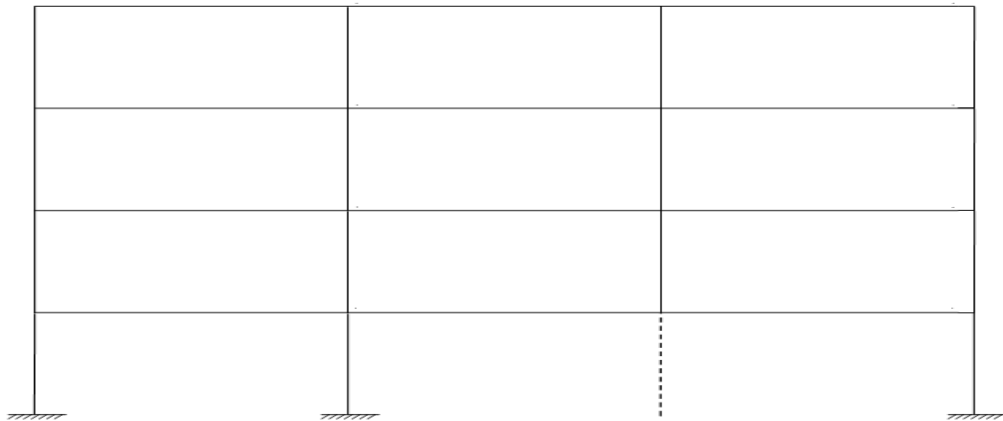
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.51 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 4%

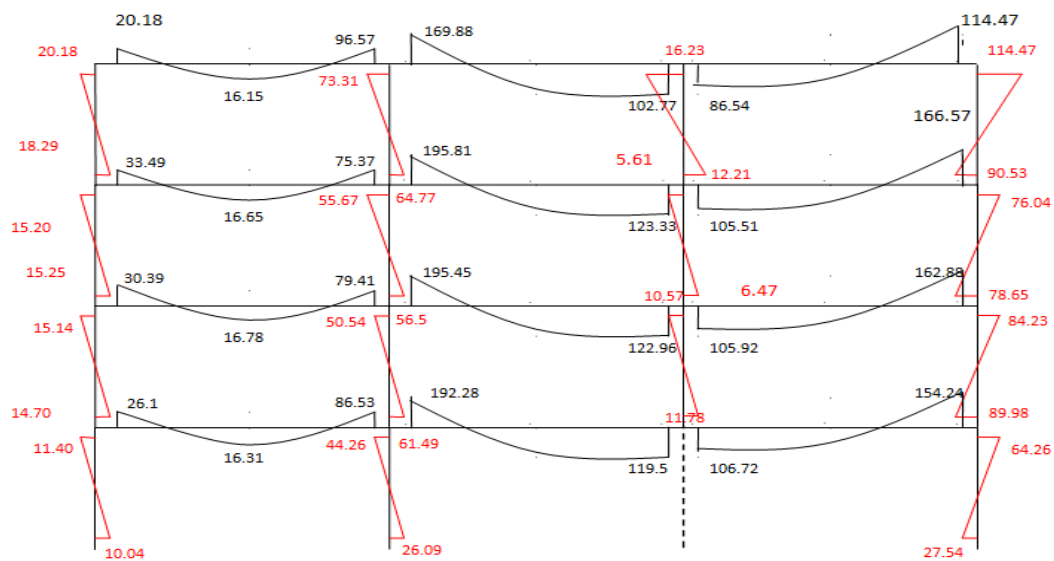
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 402 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau voisin de rive (kN.m)

Figure 5.52 : Image instantanée après l'endommagement du poteau voisin de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%

5-2-6-2- Principales constatations :

L'analyse du portique **P 4N3T** après la rupture du poteau voisin de rive fait ressortir les constatations suivantes :

- Le nombre développé de rotules plastiques juste après l'endommagement pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% est de seize les quatre dernières rotules (1^{ère} cas) (figure 5-43 et 5-44) ,et les cinq dernières rotules(2^{ème} cas) (figure 5-45 et 5-46) apparaissant simultanément , mais pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre est réduit à sept sept rotules seulement (figures 5-47 et 5-48).
- L'emplacement et l'ordre des sept premières rotules plastiques développées pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et ceux pour le deuxième en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% et le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% sont absolument les mêmes.
- Dès qu'une des conditions (équilibre, écoulement et mécanisme) n'est pas satisfaite, en l'occurrence, la condition d'équilibre, dans ce cas, le processus est condamné à s'arrêter quelque soit le nombre de rotules plastiques développé. Cette situation est en fait expliquée par le développement d'un mécanisme élémentaire ou d'une ruine partielle.
- Les rotules plastiques formées au niveau des poutres du troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% pouvant être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas sept rotules plastiques considérées comme bloquées (figure 5-47-a et 5-48-a).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 37$. ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Cette dernière n'est pas satisfaite pour l'ensemble de ces cas.

5-2-6-3- Synthèse :

- La rupture d'un poteau voisin de rive n'entraîne pas l'écroulement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).
- Pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2%, la rupture du poteau n'entraîne aucune déformabilité du portique. De ce fait, l'endommagement est local car les sept rotules développées pouvant être considérées comme bloquées (le portique pouvant être considéré comme statique).
- Pour le quatrième et cinquième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3 et 4% respectivement aucune rotule plastique n'a été développée, donc la totalité de la structure reste stable après la rupture du poteau.
- Les ruines partielles sont constituées de « beam mechanisms ». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres, les poteaux restants intacts.

5-2-7-La rupture d'un poteau de rive du P 4N 3T:

5-2-7-1- Image instantanée après l'endommagement:

-1^{er} cas : $A_s = A_{s \min}$:

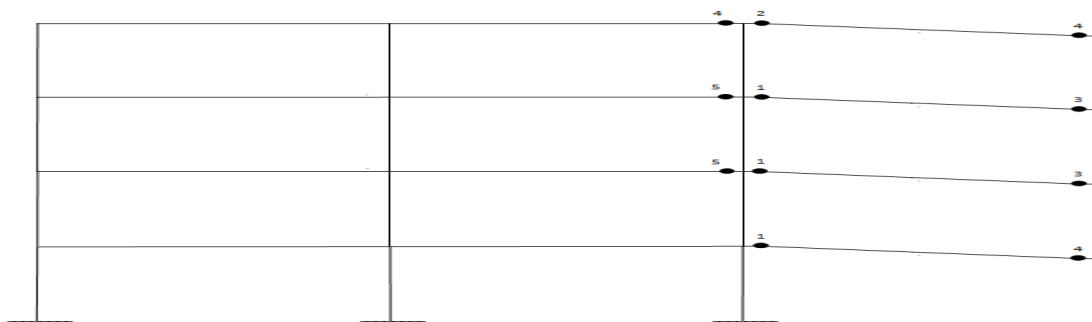
poteau $A_{s \min} = 0,8 \%$

poutre $A_{s \min} = 0,5 \%$

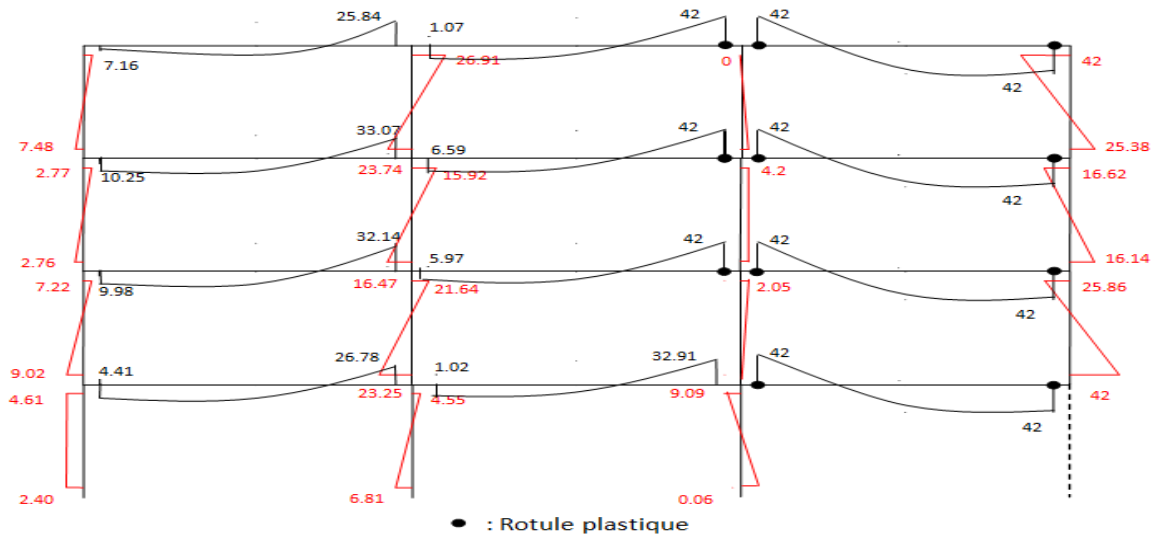
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 274 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 4N 3T



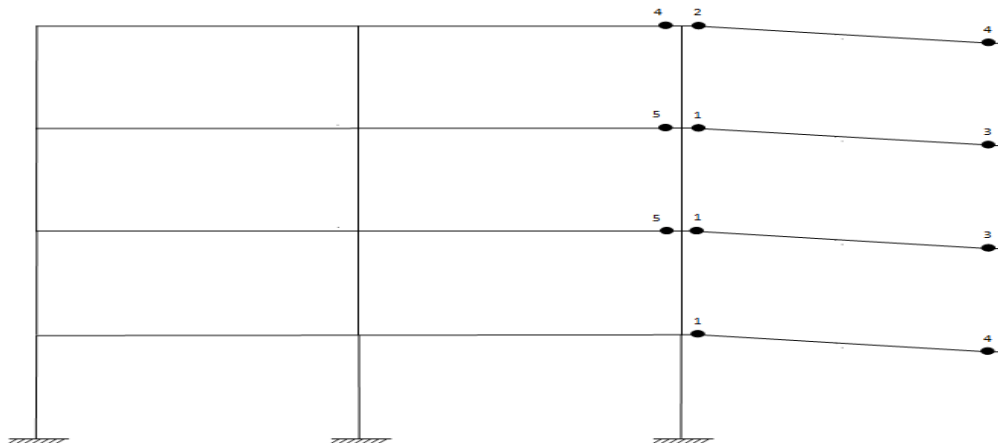
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.53 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de A_s min

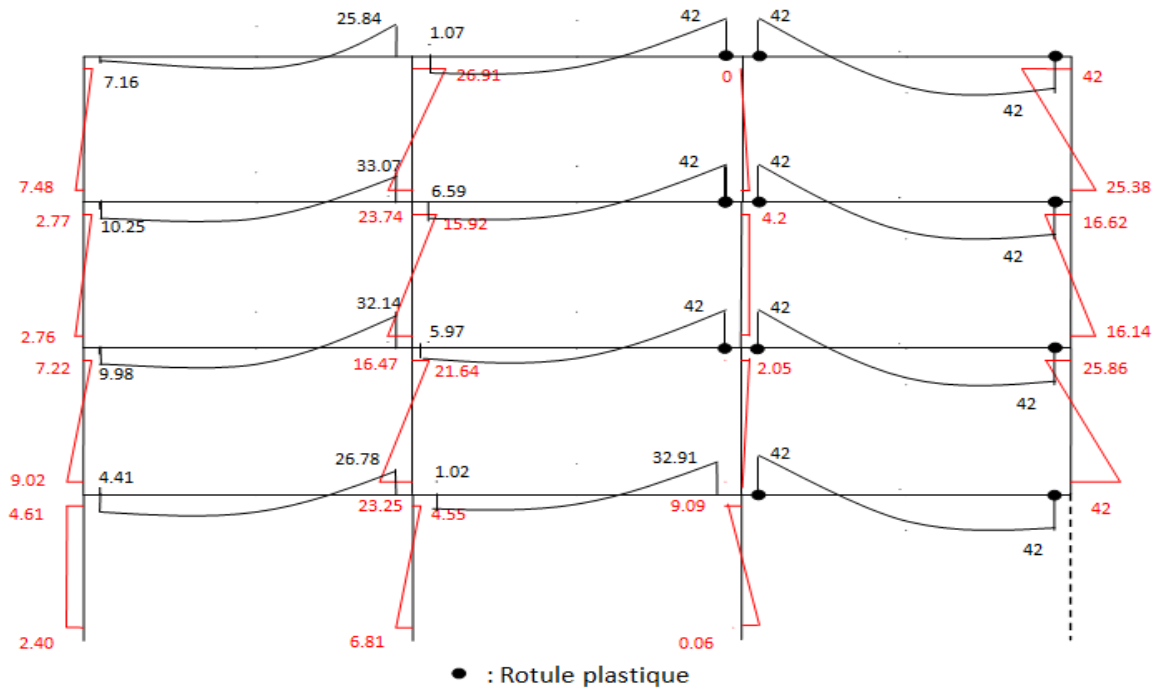
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 42 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 292 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

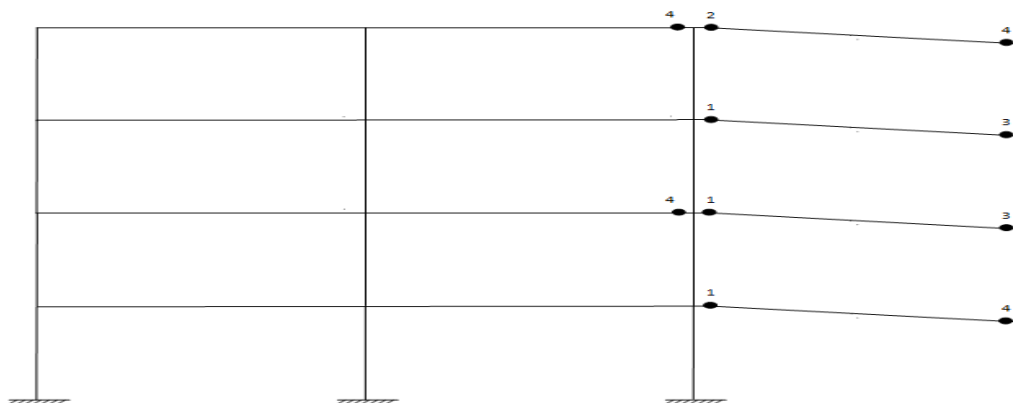
Figure 5.54 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de A_s min

-2^{ème} cas : $A_s = 1\%$

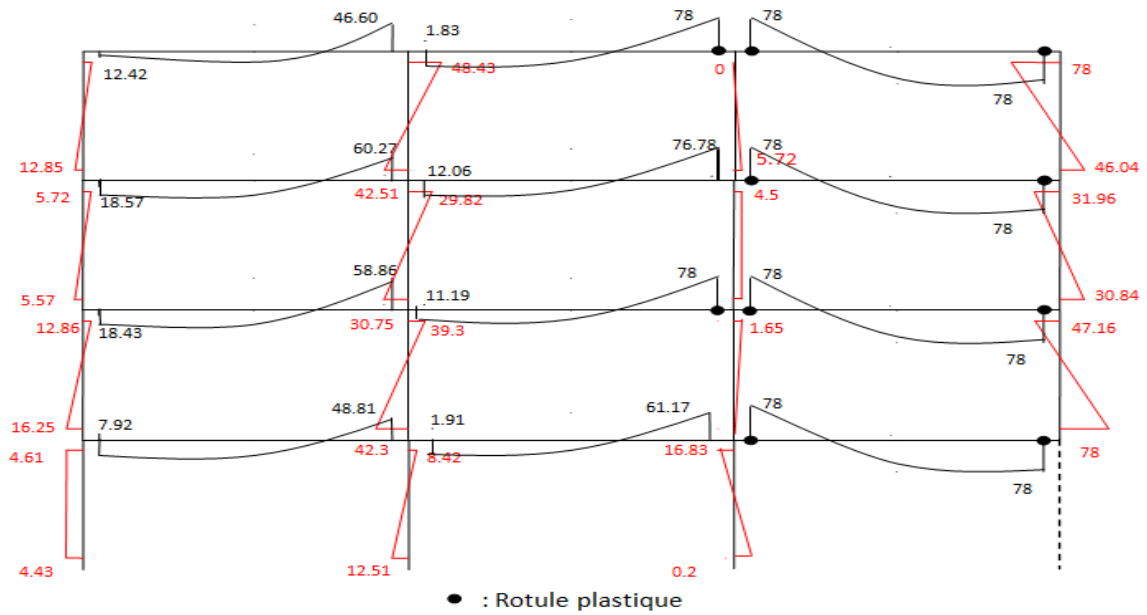
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 78$ kN.m

$M_{pc} = 280$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



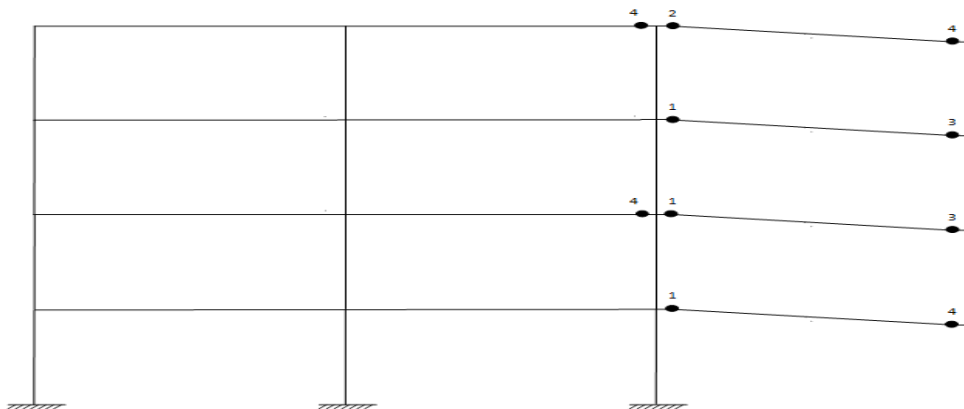
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.55 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 1%

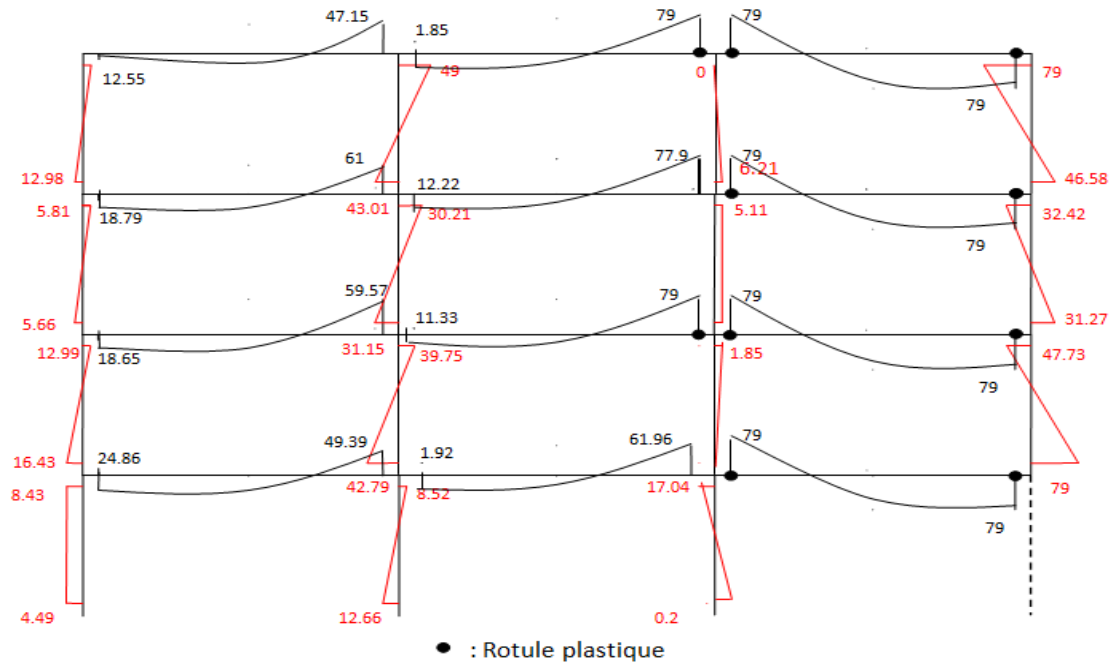
b)-Béton de sable armée :

$$M_{pb} = 79 \text{ kN.m}$$

$$M_{pc} = 298 \text{ kN.m}$$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

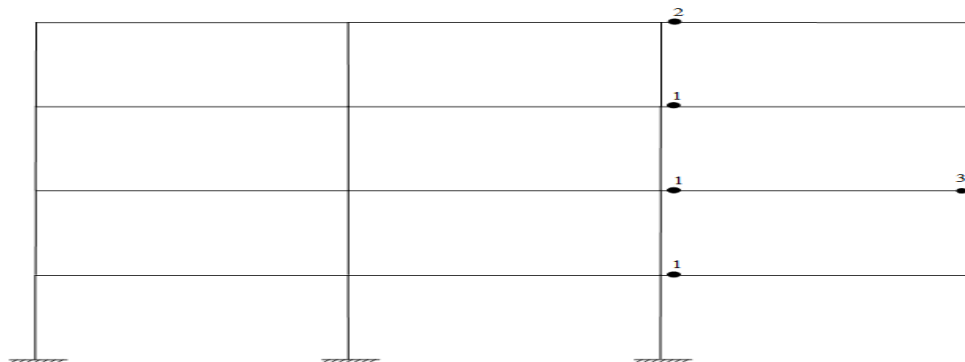
Figure 5.56 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en (BDSA) avec le taux d'armature de 1%

-3^{ème} cas : $A_s = 2\%$

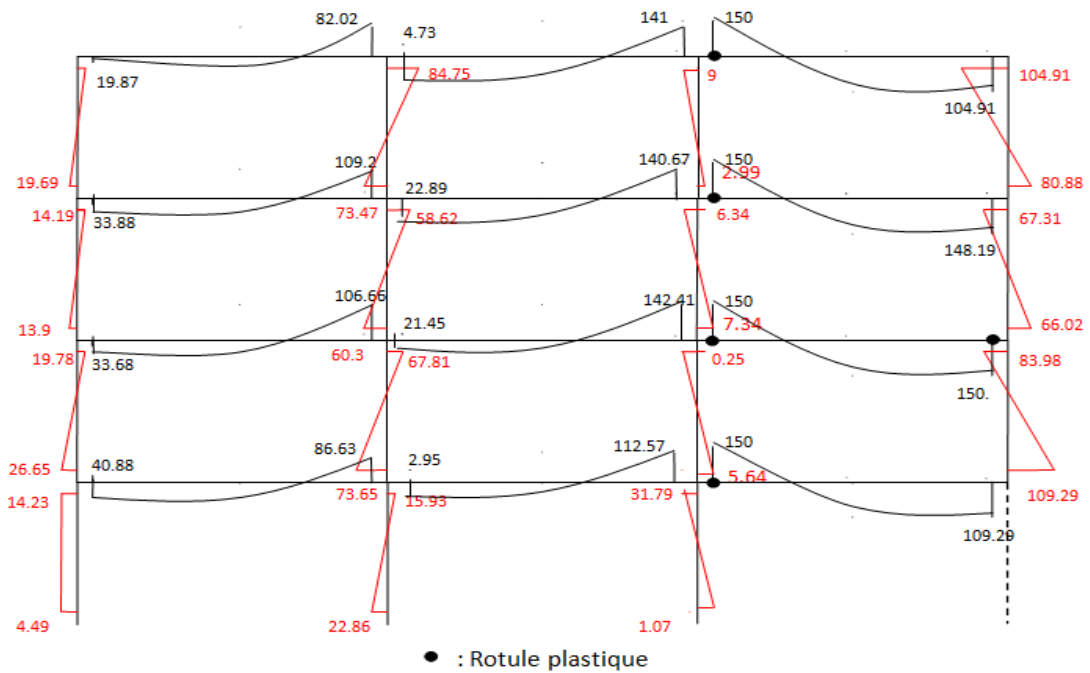
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 150$ kN.m

$M_{pc} = 311$ kN.m



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



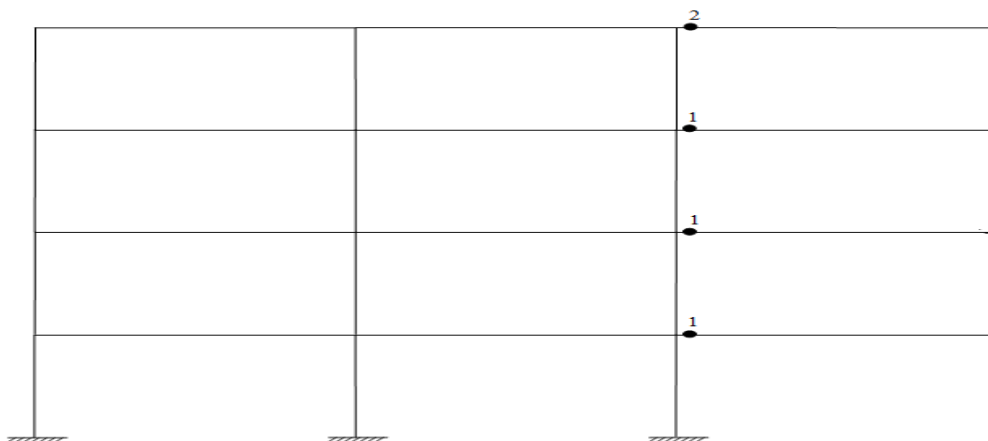
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.57 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 2%

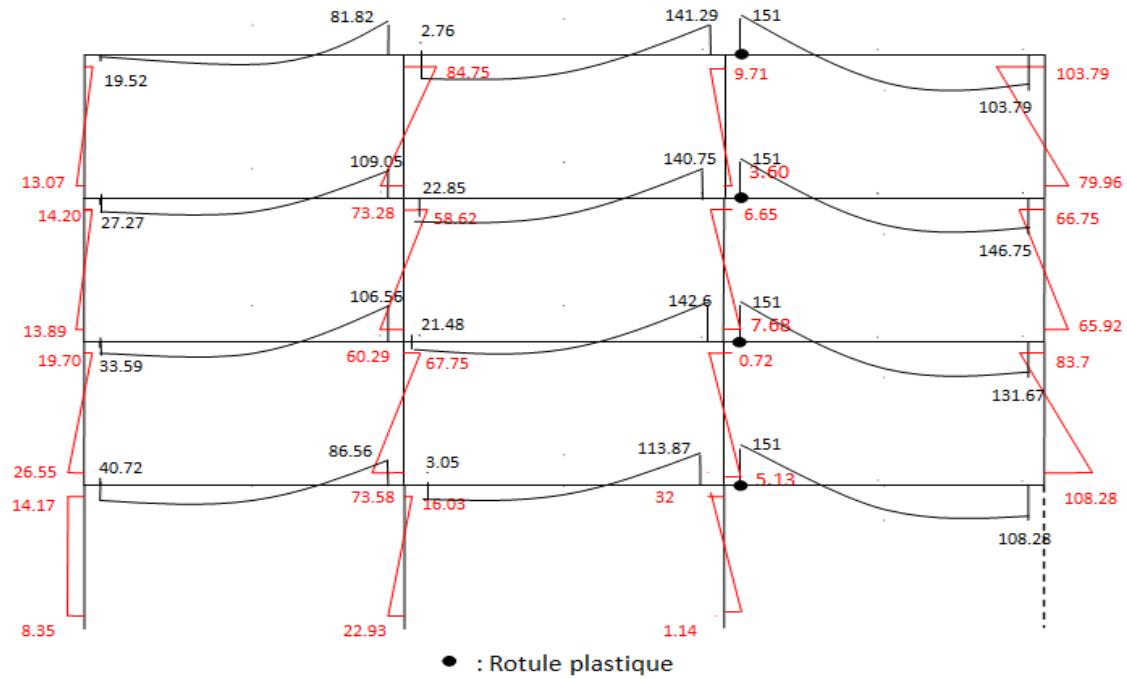
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 151 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 332 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

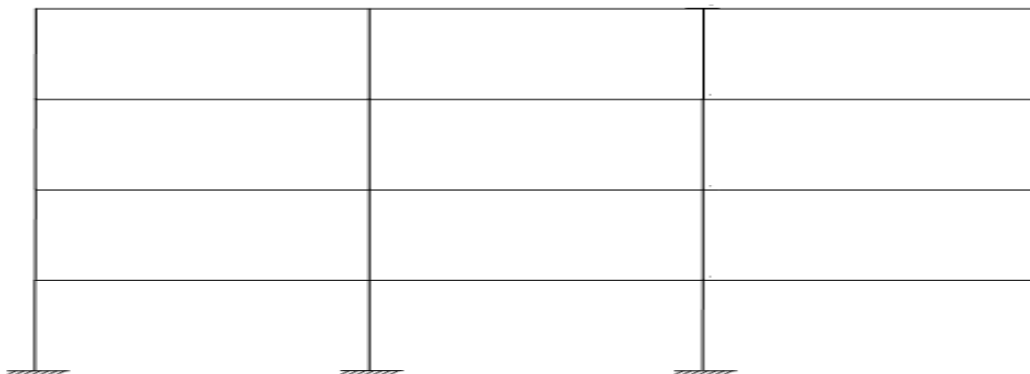
Figure 5.58 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 2%

-4^{ème} cas : $A_s = 3\%$

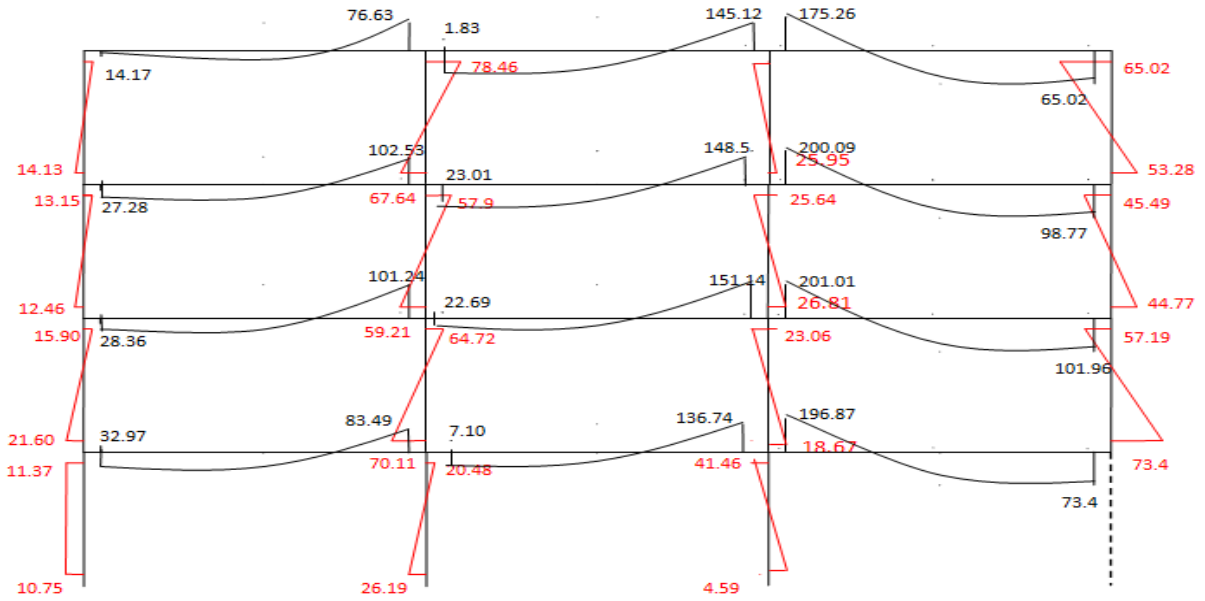
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 222 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 343 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



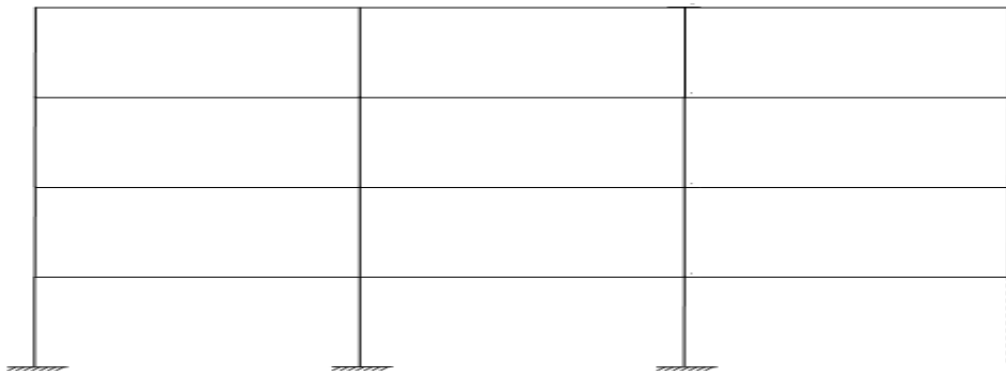
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.59 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BOA) avec le taux d'armature de 3%

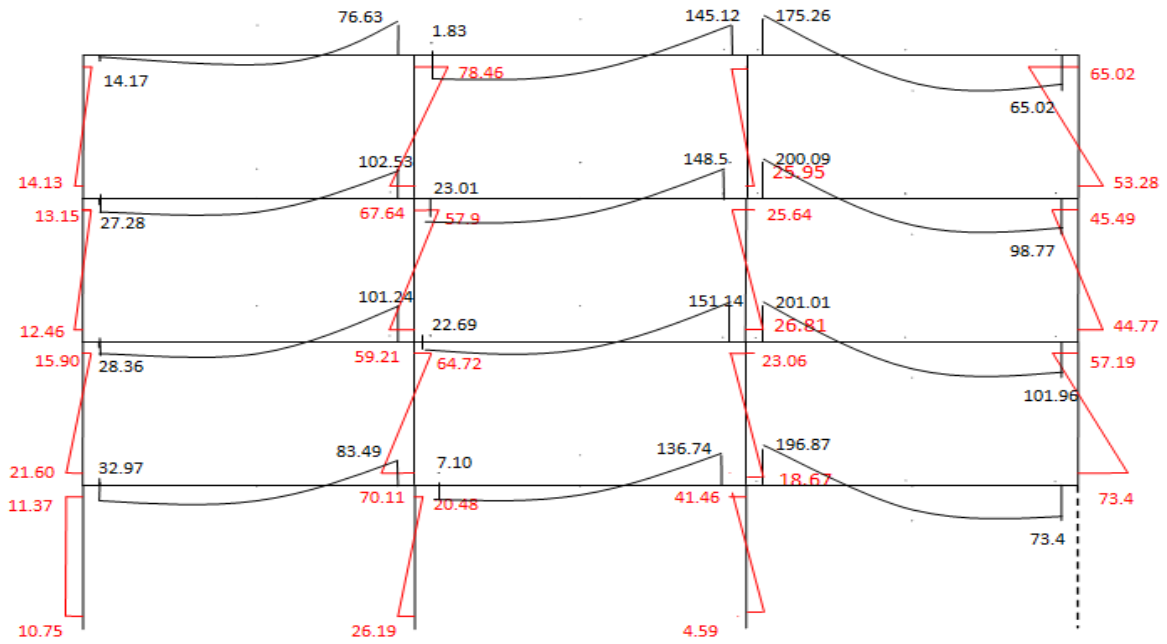
b)-Béton de sable armée :

$$M_{pb} = 223 \text{ kN.m}$$

$$M_{pc} = 366 \text{ kN.m}$$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du P 4N 3T après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

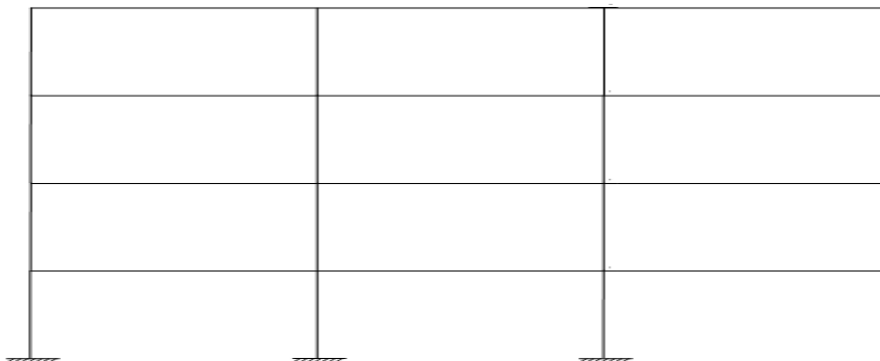
Figure 5.60 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 3%

-5^{ème} cas : $A_s = 4\%$

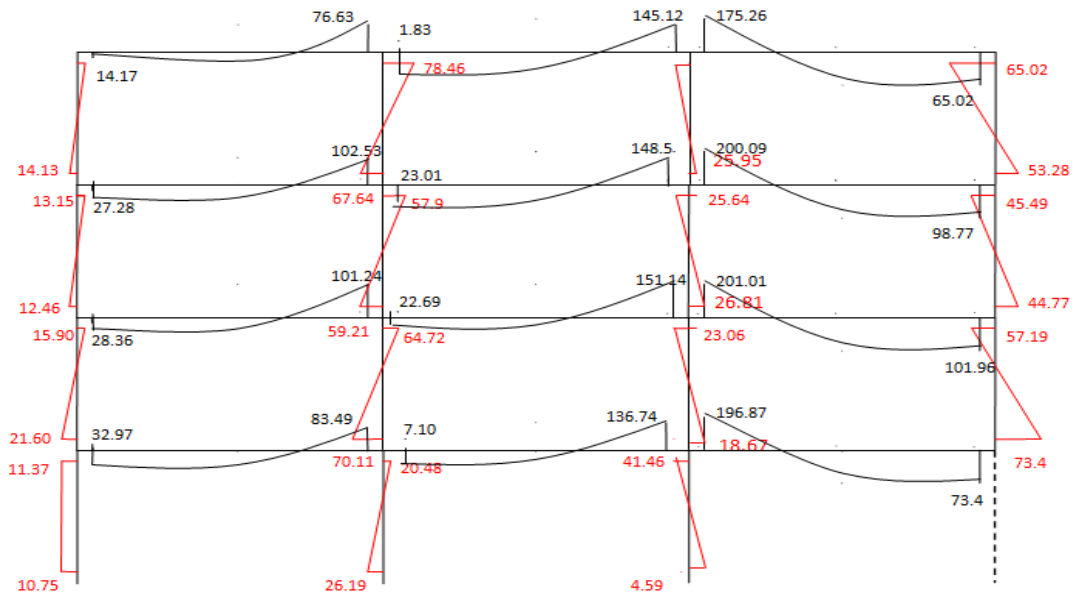
a)-Béton ordinaire armée :

$M_{pb} = 294 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 377 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du P 4N 3T



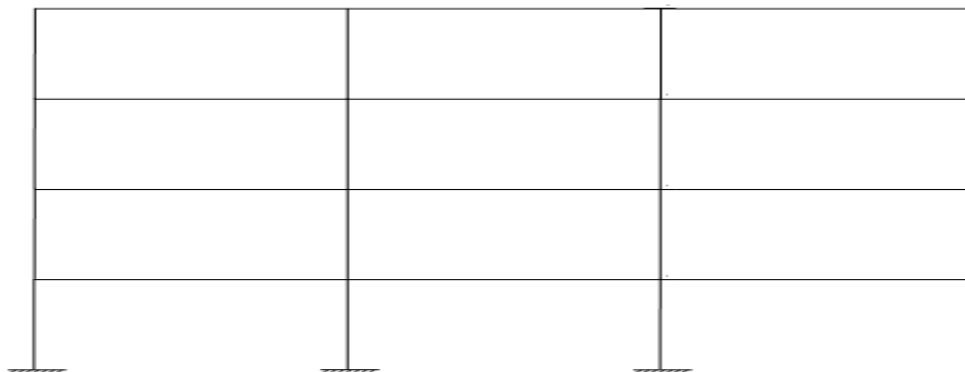
b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5-61 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en (BOA) avec le taux d'armature de 4%

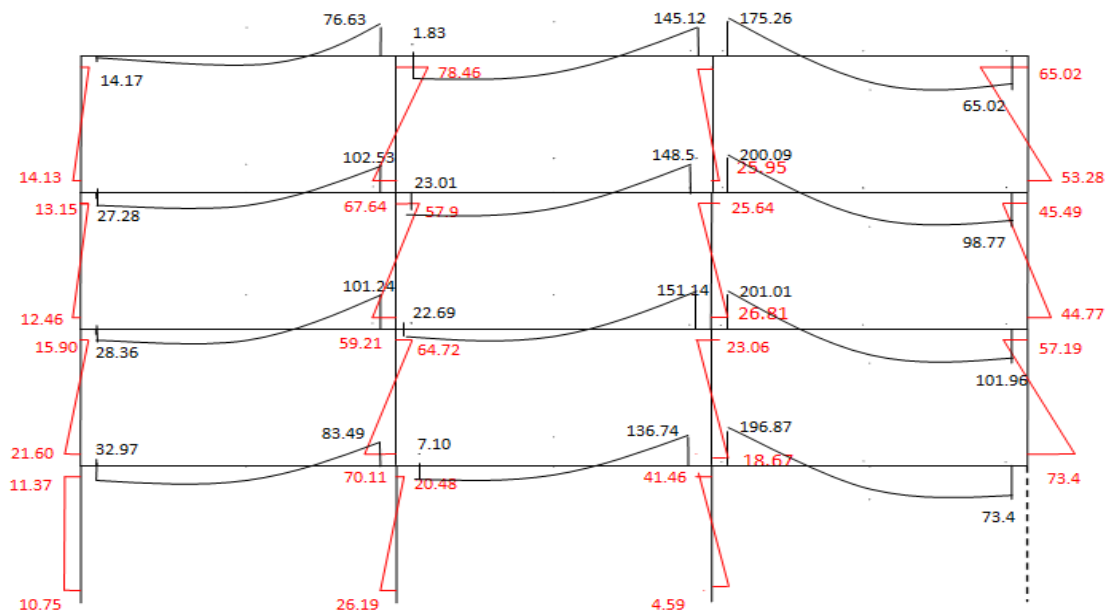
b)-Béton de sable armée :

$M_{pb} = 295 \text{ kN.m}$

$M_{pc} = 402 \text{ kN.m}$



a) disposition des rotules plastiques avec ordre d'apparition du **P 4N 3T**



b) diagramme des moments fléchissants du **P 4N 3T** après la rupture d'un poteau de rive (kN.m)

Figure 5.62 : Image instantanée après l'endommagement du poteau de rive du P 4N 3T en(BDSA) avec le taux d'armature de 4%

5-2-7-2 -Principales constatations:

L'analyse du portique **P 4N3T** après la rupture du poteau de rive fait ressortir les constatations suivantes :

- Le nombre développé de rotules plastiques juste après l'endommagement pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min est de onze les deux dernières rotules apparaissant simultanément (figure 5-53 et 5-54) , pour le deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% Le nombre de rotules plastiques développé juste après l'endommagement est de dix les quatre dernières rotules apparaissant simultanément (figure 5-55 et 5-56) mais pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre est réduit à cinq (figures 5-57 et 5-58).
- L'emplacement et l'ordre des cinq premières rotules plastiques développées pour le premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et ceux pour le

deuxième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% et le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% sont absolument les mêmes.

- Dès qu'une des conditions (équilibre, écoulement et mécanisme) n'est pas satisfaite, en l'occurrence, la condition d'équilibre, dans ce cas, le processus est condamné à s'arrêter quelque soit le nombre de rotules plastiques développé. Cette situation est en fait expliquée par le développement d'un mécanisme élémentaire ou d'une ruine partielle.
- Les rotules plastiques formées au niveau des poutres du troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% pouvant être considérées comme bloquées (car elles ne peuvent pas agir sur la déformabilité globale de la structure). Dans ce cas cinq rotules plastiques considérées comme bloquées (figure 5-57-a et 5-58-a).
- Le nombre théorique de rotules nécessaires pour la transformation du portique témoin en question en un mécanisme est de $n = r + 1 = 37$. ce qui est, en fait, la condition de mécanisme conformément aux théorèmes de la plasticité. Cette dernière n'est pas satisfaite pour l'ensemble de ces cas.

5-2-7-3- Synthèse :

- La rupture d'un poteau de rive n'entraîne pas l'écrasement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).
- Pour le troisième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , la rupture d'un poteau n'entraîne aucune déformabilité du portique. De ce fait, l'endommagement est local car les cinq rotules développées considérées comme bloquées (le portique pouvant être considéré comme statique).
- Pour le quatrième et cinquième cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3 et 4% respectivement aucune rotule plastique n'a été développée, donc la totalité de la structure reste stable après la rupture du poteau.
- Les ruines partielles sont constituées de « vertical sway mechanism ». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres, les poteaux restants intacts.

5-3- Synthèse des synthèses :

i. Le nombre de rotules développé est inversement proportionnel au pourcentage d'armature (l'augmentation de pourcentage d'armature engendre une diminution du nombre de rotules développé) et ceci pour les trois portiques et ce pour les deux cas étudiés à savoir la rupture d'un poteau voisin de rive ou la rupture d'un poteau de rive.

- La rupture d'un poteau voisin de rive :

Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature A_s min , le nombre de rotules développé est de douze.

Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% , le nombre de rotules développé est de douze.

Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules développé est de cinq.

Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 4% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min , le nombre de rotules développé est de douze.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% , le nombre de rotules développé est de douze.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules développé est de cinq.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 4% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min , le nombre de rotules développé est de seize.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% , le nombre de rotules développé est de seize.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules développé est de sept.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 4% , le nombre de rotules développé est de zero.

- La rupture d'un poteau de rive :

- Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min le nombre de rotules développé est de huit.

- Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% , le nombre de rotules développé est de huit.

- Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules développé est de quatre.

- Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% , le nombre de rotules développé est de zero.

- Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 4% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min , le nombre de rotules développé est de six.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% , le nombre de rotules développé est de six.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules développé est de quatre.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% , le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 4% le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min le nombre de rotules développé est de onze .

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1% le nombre de rotules développé est de dix.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA), avec le taux d'armature de 2% le nombre de rotules développé est de cinq.

Pour le **P 4N 3T** en (BDSA), avec le taux d'armature de 2% le nombre de rotules développé est de quatre.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 3% le nombre de rotules développé est de zero.

Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 4% le nombre de rotules développé est de zero.

Il est à noter que :

- ii. La nature du poteau endommagé (de rive ou voisin de rive) agit directement sur le nombre de rotules développé ainsi que l'ordre et l'emplacement de ces dernières. Ce constat a été observé pour les cinq valeurs de A_s .

Cas de $A_s = A_s$ min, et $A_s = 1\%$:

- La rupture d'un poteau voisin de rive du **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), le nombre de rotules développé est de douze.
- La rupture d'un poteau de rive du **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), le nombre de rotules développé est de huit.
- La rupture d'un poteau voisin de rive du **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), le nombre de rotules développé est de douze.

- La rupture d'un poteau de rive du **P 3N 4T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de six.
- La rupture d'un poteau voisin de rive du **P 4N 3T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de seize.
- La rupture d'un poteau de rive du **P 4N 3T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de onze.

Cas de $A_s = 2\%$:

- La rupture d'un poteau voisin de rive du **P 3N 3T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de cinq.
- La rupture d'un poteau de rive du **P 3N 3T** en (BOA ,BDSA) le nombre de rotules développé est de quatre.
- La rupture d'un poteau voisin de rive du **P 3N 4T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de quatre.
- La rupture d'un poteau de rive du **P 3N 4T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de six .
- La rupture d'un poteau voisin de rive du **P 4N 3T** en (BOA ,BDSA), le nombre de rotules développé est de sept.
- La rupture d'un poteau de rive du **P 4N 3T** en (BOA), le nombre de rotules développé est de cinq.
- La rupture d'un poteau de rive du **P 4N 3T** en (BDSA), le nombre de rotules développé est de quatre.

Cas de $A_s = 3\%$,et $A_s = 4\%$:

- La rupture d'un poteau voisin de rive, et le poteau de rive du **P 3N 3T** en (BOA ,BDSA) le nombre de rotules développé est de zero.
- La rupture d'un poteau voisin de rive, et le poteau de rive du **P 3N 4T** en (BOA ,BDSA) le nombre de rotules développé est de zero.

- La rupture d'un poteau voisin de rive, et le poteau de rive du **P 4N 3T** en (BOA , BDSA) le nombre de rotules développé est de zero.
- iii. L'effet du changement de la forme en élévation (le rajout d'un niveau ou le rajout d'une travée) est identifié par la disposition des rotules aux différentes sections ou zones critiques de chaque portique étudié. La disposition des rotules est similaire pour chaque cas étudié.
- La rupture d'un poteau voisin de rive: premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et le deuxièmes cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1%, la disposition des rotules est identique pour les trois portiques témoins.
 - la rupture d'un poteau de rive : premier cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de A_s min et le deuxièmes cas en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 1%, la disposition des rotules est identique pour les deux portiques témoins **P 3N 3T**, **P 3N 4T** avec deux rotules manquantes et quasiment identique pour le portique témoin **P 4N 3T** avec trois rotules manquantes .
- iv. Il à noter que les rotules développées peuvent être assimilées à des rotules bloquées, c'est-à-dire, sans influence sur la déformabilité de la structure (si comme si elles étaient des rotules mécaniques directement incrustées dans la structures) et ceci pour les cas d'endommagement suivants :
- La rupture d'un poteau voisin de rive :
 - Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules bloquées est de cinq.
 - Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules bloquées est de cinq.
 - Pour le **P 4N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules bloquées est de sept.

- La rupture d'un poteau de rive :

Pour le **P 3N 3T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules bloquées est de quatre.

Pour le **P 3N 4T** en (BOA , BDSA), avec le taux d'armature de 2% , le nombre de rotules bloquées est de quatre.

Pour le **P 4N 3T** en BOA avec le taux d'armature de 2%, le nombre de rotules bloquées est de cinq et quatre pour le celui en BDSA.

Chapitre 6

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

6-CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES :

6-1- Introduction :

Les conclusions de la présente recherche peuvent être synthétiser en deux grands parties : Le premier concerne l'obtention de mécanismes de ruine et la construction de diagrammes d'interaction pour des trois portiques non endommagé (**P3N 3T, P3N4T et P4N3T**) et aussi la mise en exergue des effets des paramètres censés être les plus influents sur le comportement du portique témoin à savoir le rapport $\alpha=V/H$ ainsi que le pourcentage d'armature.

La deuxième partie concerne l'analyse des images instantanées des trois portiques après la rupture d'un poteau de base. L'étude a concerné la rupture d'un poteau voisin de rive et d'un poteau de rive près l'analyse des trois portiques non endommagés pour la détermination des vrais mécanismes de ruine par la méthode « pushover » il s'est avéré que le paramètre le plus influent est le rapport $\alpha = V/H$. il a un effet direct sur les mécanismes obtenus et les charges de ruine. L'étude a révélé trois principaux intervalles de 'α' où les principaux changements sont constatés, l'étendue de ces intervalles est directement influencée par la forme en élévation du portique (effet du rajout d'un niveau ou d'une travée).

Pour de faibles valeurs de 'α' : La prépondérance est aux « sway mechanisms » localisée ou totaux.

Pour de grandes valeurs de 'α' : La prépondérance est aux « beam mechanisms » localisée ou totaux.

Pour des valeurs intermédiaires de α où les mécanismes prépondérants sont des « combined mechanisms » avec des combinaisons de quelques mécanismes élémentaires y compris des « joint rotation mechanisms ».cette zone intermédiaire a été trouvée être influencée aussi bien par le nombre de niveaux que par celui des travées.

- i. la variation du taux d'armature agissent directement sur la nature des mécanismes de ruine et les charges de ruine.
- ii. La troisième condition celle de mécanisme (développement de n rotules plastiques où $n=r+1$ pour que la structure se transforme en un mécanisme), en conformité avec les trois théorèmes fondamentaux de l'analyse plastique des structures, n'est pas impérativement satisfaite pour les portiques à plus d'une travée et plus d'un niveau. Cette non satisfaction de la condition de mécanisme a été observée pour les cas où un mécanisme élémentaire où la combinaison de deux ou plusieurs mécanismes élémentaires se seront développés. L'analogie avec le « Beam mechanism » d'un portique à un niveau et une travée est édifiante (développement de trois rotules au lieu de quatre nécessaires pour le portique). De ce fait la condition de mécanisme n'est satisfaite que s'il n'y a pas de ruine partielle d'une partie de la structure ou de plusieurs.
- iii. La principale conclusion, elle concerne la forme de la partie inclinée des diagrammes d'interaction c'est-à-dire celle qui concerne les « combined mechanisms » cette partie a révélé la présence de deux valeurs tampons (limites ou frontières) pour les trois portiques avec le taux d'armature de ($A_s \text{ min} , 1\%$) en BOA et BDSA , quatre valeurs tampons pour le portique de (P4N3T) avec le taux d'armature de (3% et 4%) en BOA et BDSA , et trois pour le reste .

6-3- Analyse de portiques endommagés :

L'étude a révélé que l'obtention de l'image instantanée après la rupture d'un poteau de base d'une structure en portique n'est pas une opération facile car elle nécessite tout d'abord une connaissance approfondie sur les concepts de l'analyse plastique des structures avec une grande maîtrise de l'outil informatique.

L'étude fait ressortir les quelques principales conclusions suivantes :

- i. L'image instantanée après la rupture d'un poteau de base a été trouvée fortement influencer par le pourcentage d'armature (A_s prenant cinq valeurs). Le nombre de rotules développées est inversement proportionnel à A_s (l'augmentation du pourcentage

d'armature engendre une diminution du nombre de rotules développé), et ceci pour les trois portiques ainsi que les deux cas étudiés à savoir la rupture d'un poteau central et la rupture d'un poteau de rive.

- ii. La nature du poteau endommagé (de rive ou central) agit directement sur le nombre de rotules développé ainsi que l'ordre et l'emplacement de ces dernières et ceci est observé pour les cinq valeurs du A_s .

L'effet du changement de la forme en élévation (le rajout d'un niveau ou le rajout d'une travée) est caractérisé par la disposition des rotules aux différentes sections ou zones critiques de chaque portique étudié. La disposition des rotules s'est avéré être identique.

- iii. Il est à noter qu'un certain nombre de rotules peuvent être considérées comme des rotules bloquées c'est-à-dire sans influence sur la déformabilité de la structure (c'est comme si elles étaient des rotules mécaniques directement incrustées dans la structure) et sans risques pour la structure endommagée.
- iv. Les ruines partielles sont constituées de « vertical sway mechanism ». Les rotules ont tendance à se développer au niveau des poutres et non des poteaux. Ce qui facilite l'opération de réhabilitation (recréation du poteau et replâtrage des zones endommagées).
- v. La rupture accidentelle d'un poteau voisen de rive ou d'un poteau de rive n'entraîne pas l'écrasement total de la structure (le nombre de rotules ainsi que leur emplacement n'atteint pas le nombre nécessaire de sa transformation en un mécanisme total).

6-4- Perspectives :

Le présent thème peut être développé dans plusieurs directions, et à notre sens, il y a lieu de commencer par affiner et compléter ce qui a été réalisé dans le cadre de l'accomplissement de la présente thèse en deux grandes parties :

Perspectives pour l'obtention des Mécanismes de ruine des portiques non endommagés :

- i. Augmenter le nombre de sections critiques en augmentant le nombre des charges concentrées verticales ou en utilisant carrément des charges uniformément réparties.
- ii. Etablir une relation de l'étendue de chaque intervalle de, α , pour les différents mécanismes de ruine en étudiant un nombre plus important de portiques pour les valeurs tampons de α .

Perspectives pour l'analyse des portiques endommagés :

- i. Etudier (déterminer) un nombre plus important de portiques endommagés en faisant changer la position du poteau endommagé au niveau des différents niveaux.
- ii. Etudier la variation du taux des armatures comprimées
- iii. Analyser des portiques endommagés pour un taux d'endommagement de l'élément endommagé (poteau ou poutre) donné.

Annexe A

CALCUL DU MOMENT PLASTIQUE

A.1. Détermination du moment ultime d'une section non usuelle en béton armé :

A.1.1. Exposé de la méthode basée sur le concept de la théorie générale :

La théorie est basée sur cinq hypothèses fondamentales [2] :

- a) La théorie de flexion pour le béton armé suppose que le béton se fissure dans les régions des contraintes de traction et que, après avoir fissurer, toute les contraintes de traction sont portés par les armatures. On suppose également que les sections planes d'une pièce demeurent planes après déformation, de sorte qu'à travers la section la distribution des déformations est linéaire.
- b) L'état limite à la ruine est obtenu quand la déformation relative dans le béton ϵ_{cc} à la fibre la plus comprimée atteint une valeur spécifique ϵ_{cu} (les principaux codes la prennent égale à 3500.106 pour BOA et 5000.106 pour BDSA [8,9]).
- c) A la rupture (image instantanée de la ruine), la distribution des contraintes de compression dans le béton est définie par un bloc parabole-rectangulaire représente la distribution à la rupture quand les déformations compressives sont dans la marge plastique et elle est associée à la conception pour l'état limite ultime.
- d) Le bloc rectangulaire équivalent de contrainte est une alternative simplifiée à la distribution parabole-rectangle, figure (A.1)
- e) Car il y a de compatibilité des déformations entre l'armature et le béton adjacent, les déformations d'acier dans la traction, ϵ_{st} , et dans la compression, ϵ_{sc} , peuvent être déterminé à partir du diagramme de déformations.

Remarque : Ces hypothèses exigent que la section transversale ait un axe de symétrie verticale.

A.1.2. Moment ultime ou moment plastique d'une section non usuelle en BOA et BDSA :

Soit une section non usuelle en BOA et BDSA sollicitée à la flexion simple.

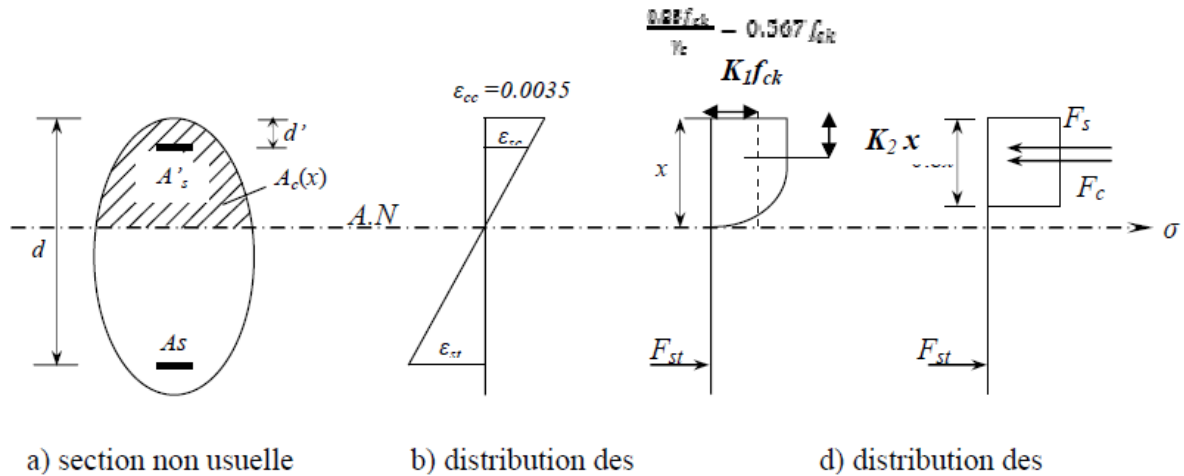


Figure A.1 : Distribution des contraintes et déformations d'une section non usuelle en BOA

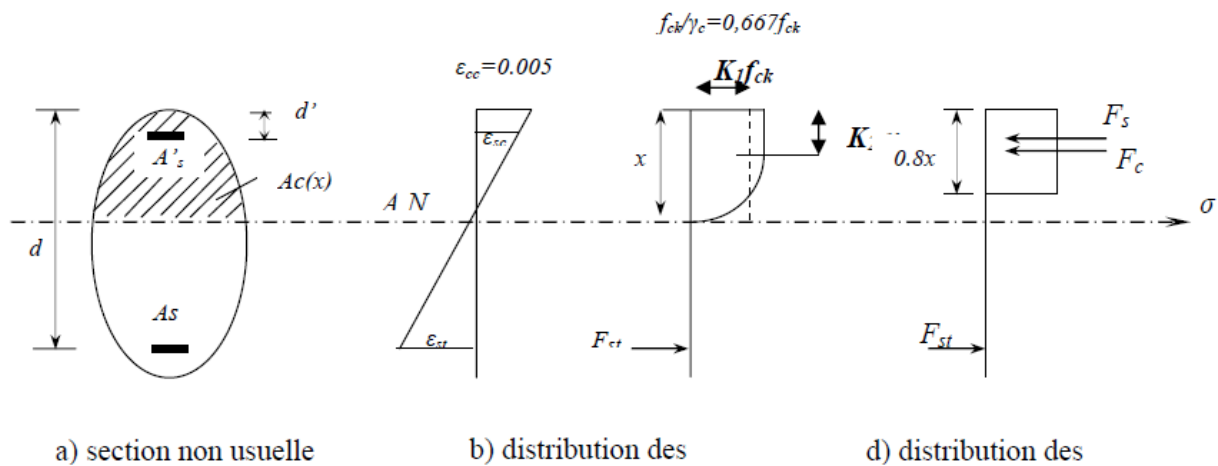


Figure A.2 : Distribution des contraintes et déformations d'une section non usuelle en BDSA

A partir de l'équilibre interne :

$$F_{sc} + F_{cc} = F_{st} \quad (A.1)$$

De sorte que :

$$\text{Pour BOA : } F_{sc} = K_1 f_{ck} A_c(x)$$

$$\text{Pour BDSA : } F_{sc} = K_1 f_{ck} A_c(x)$$

$$F_{cc} = f'_s A'_s$$

$$F_{st} = f_s A_s$$

Où $f's$ et fs sont les contraintes dans les armatures tendues et comprimées

Substituant, l'équation d'équilibre (A.1) devient alors :

$$\text{Pour BOA : } K1fck Ac(x) + f's A's = fs As \quad (\text{A.2})$$

$$\text{Pour BDSA } K1 fck Ac(x) + f's A's = fs As \quad (\text{A.3})$$

L'équations (A.2) et (A.3) sont des équations qui présente trois inconnues interdépendantes $Ac(x), f's, fs$, qui ne peut être résolue que par la méthode d'essai successifs [7]

Les étapes à suivre dans cette méthode sont :

- 1) Fixer x premièrement égale à une valeur de $x = d/2$;
- 2) Calculer ε_{st} et ε_{sc} par :

$$\varepsilon_{st} = \varepsilon_{cc} \left(\frac{d - x}{x} \right) \quad (\text{A.4})$$

et

$$\varepsilon_{sc} = \varepsilon_{cc} \left(\frac{x - d'}{x} \right) \quad (\text{A.5})$$

Où d est la hauteur utile, d' : est l'enrobage des armatures comprimées.

À l'état limite ultime la déformation maximale du béton comprimé est prise :

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cu} = 0.0035 \text{ pour BOA}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cu} = 0.005 \text{ pour BDSA}$$

Après avoir déterminé les déformations, on peut évaluer les contraintes dans les armatures, $f's$ et fs à partir des courbes contraintes-déformations appropriées.

- 4) Remplaçant $x, f's$ et fs dans l'équations d'équilibre (A.2) et (A.3), si l'égalité est vrai, x est une solution, Si ce n'est pas le cas, le problème exigerait la solution en essayant des

valeurs successives *de x* jusqu'à ce que :

$$F_{sc} + F_{cc} = F_{st}$$

Une fois la profondeur de l'axe neutre est connue, l'équilibre est atteint, le moment ultime de la section sera donné par :

a) Par rapport à la section des armatures tendues:

$$\frac{M_u}{A_s} = F_{sc}(d - d') + F_{cc}(d - 0.40x) \quad (\text{A.6})$$

b) Par rapport au centre de gravité de la section de la partie comprimée du béton :

$$Mu/CDG = F_{st}(d - 0.4x) + F_{sc}(0.40x - d') \quad (\text{A.7})$$

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **BETONS DE SABLE** -caracteristiques et pratiques d'utilisation- Sablocrete - Amazon . fr - livres
- [2]. **SAMAI M. L.** "Analyse plastique des structures". Notes des cours de post-graduation. Université de Constantine. Algérie (2011).
- [3]. **BOUKELOUA. S.** "Etude des mécanismes de ruine pour des structures multi-étagées". Thèse de Magister. Université de Skikda. Algérie (2008).
- [4]. **BADER. R.** " comportement de structures en portiques après la rupture d'un poteau de base". Thèse de Magister. Université de Constantine. Algérie (2009).
- [5]. **BOUKHLOUF. B, CHARIF .A.H,** "Analyse élasto-plastique des structures planes par la méthode des rotules plastiques". Thèse de Magister. Université de Batna. Algérie.
- [6]. **HORNE** Plastic Theory Of Structures 2nd Edition in SI/Metric Units university of Manchester, England (1979)
- [7]. **JEAN COURBON,** Plasticité appliquée au calcul des structures (1976)
- [8]. **MOSLEY W.H, HULSE R, BUNGEY J.H.** "Reinforced concrete design to Eurocode 2". Eurocode 2. EDITIONS ROWE LTD CHIPPENHAM WILTS. Londres. Grande-Bretagne (1996).
- [9]. **CP110.** (1972) "code of practice for the structural use of concrete ". Part 2.Design charts for singly reinforced beams, doubly reinforced beams and rectangularcolumns. EDITIONS BSI British Standards Institution. Londres. Grande-Bretagne.
- [10]. **EUROCODE 2.** (1992). " Calcul des structures en béton " et Documentd'Application Nationale. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. EDITIONS AFNOR. Paris. France.