

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Mémoire présenté en vue de l'Obtention
du diplôme de MASTER en Génie civil
OPTION : STRUCTURES

Thème :

**Effet de l'interaction sol fondation sur la réponse
dynamique de la structure d'un bâtiment
cas des semelles isolées**

Présenté par :

Neguez Mohammed El Amin

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

Président :	Mr BOUGUERRA KHEIREDDINE	Université de M'sila
Encadreur :	Mr HAMITOUCHE Amar	Université de M'sila
Examineur :	Mr AMOUR AHMD	Université de M'sila

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2023/2024

Remerciements



Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire

Tout d'abord, je remercie chaleureusement Mr Hamitouche Amar, mon directeur de recherche, pour son encadrement, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de cette aventure.

Je suis également reconnaissant envers Brahimi Hamza et Brahim Khadra, mes collègues et amis, pour leur collaboration, leurs idées innovantes et leurs encouragements. Leur expertise et leur enthousiasme ont été une source d'inspiration continue.

Un grand merci au bureau d'étude technique et recherche el amara pour avoir fourni les ressources nécessaires et un environnement de travail propice à la recherche et à l'innovation.

Je n'oublie pas ma famille et mes amis, qui ont toujours été là pour moi, m'apportant leur soutien moral et leur compréhension durant les moments difficiles. Leur amour et leur patience ont été inestimables.

Enfin, je souhaite remercier toutes les personnes que je n'ai pas pu mentionner individuellement, mais qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce projet. Merci à tous.

Dédicaces



À ma famille, pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible.

À mes parents, pour m'avoir inculqué les valeurs de persévérance et de travail acharné.

À mes amis, pour leur encouragement constant et leurs moments de joie partagés.

À mon encadreur de recherche, pour ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce parcours.

À tous ceux qui ont cru en moi, même dans les moments de doute

Résumé

Ce mémoire étudie l'effet de l'interaction sol-fondations, dans le cas des semelles isolées, sur les réponses dynamiques des structures. Il analyse comment les raideurs du sol influencent la rigidité et la stabilité globale de l'ensemble de la structure ainsi que la résistance de ses éléments. Des modèles numériques sont utilisés pour simuler l'interaction sol fondation pour différents cas de raideurs. Ensuite des paramètres tels que les périodes propres ; les efforts sismiques à la base et aux différents planchers, le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement, les efforts dans quelques éléments structuraux sont évalués pour chaque modèle. L'analyse des résultats révèle l'impact crucial de l'interactions sur la sécurité et la stabilité structurelle.

On recommande, pour optimiser les performances des bâtiments en rigidité, stabilité et résistance de tenir compte de l'effet de l'interaction sol fondation dans l'analyse des projets de bâtiments.

Mots clés : Stabilité, Résistance, Réponse sismique, Renversement, Période propre, Interaction sol structures

Abstract

This master's thesis studies the effect of soil-foundation interaction - in the case of isolated footings - on the dynamic responses of structures. It analyses how soil stiffnesses influence the overall stiffness and stability of the entire structure as well as the resistance of its elements. Numerical models are used to simulate soil-foundation interaction for different cases of stiffness. Then, parameters such as natural periods; seismic forces at the base and at the different floors, the safety factor against overturning, the forces in some structural elements are evaluated for each model. The analysis of the results reveals the crucial impact of the interactions on safety and structural stability. It is recommended, to optimize the performance of buildings in terms of stiffness, stability and resistance, to take into account the effect of soil-foundation interaction in the analysis of building projects.

Keywords: Stability, Resistance, Seismic response, Overturning, Natural period, Soil-structure interaction

ملخص

تدرس رسالة الماجستير هذه تأثير التفاعل بين التربة والأساسات - في حالة الأساسات المعزولة - على الاستجابات الديناميكية للهياكل. وتحلل كيفية تأثير صلابة الأرض على الصلابة والاستقرار العام للهيكل بأكمله بالإضافة إلى مقاومة عناصره. تم استخدام النماذج العددية لمحاكاة التفاعل بين التربة والأساسات في مختلف حالات الصلابة. ثم تم حساب بعض العوامل مثل الأدوار الذاتية؛ القوى الزلزالية عند القاعدة وفي الطوابق المختلفة، وعامل الأمان ضد قلب المبنى، و القوى في بعض العناصر الإنشائية لكل نموذج. يكشف تحليل النتائج عن التأثير الحاسم للتفاعلات على السلامة والاستقرار الهيكلي.

لتحسين أداء المباني من حيث الصلابة والثبات والمقاومة، يوصى بمراعاة تأثير التفاعل بين التربة والأساسات في تحليل مشاريع البناء.

الكلمات المفتاحية: الثبات، المقاومة، الاستجابات الزلزالية، القلب الدور الذاتي، تفاعل بين الهيكل و التربة

Table des matières



Remerciements	ii
Dédicaces	iii
Résumés	iv
Table des matières	v
Table des figures	xi
Liste des tableaux	xiv
LISTE DES ABREVIATION	xvi
Introduction générale	1
1 Etude Bibliographique	2
1.1 L'interaction sol-fondation cinématique.....	4
1.2 interaction sol fonadtion inertielle	5
1.3 Les types de l'interaction sol-fondations sur la réponse dynamique de la structure..	6
1.3.1 Effet de raideur.....	6
1.3.2 Effet de masse.....	6
1.3.3 Effet de fréquence.....	7
1.3.4 Effet de dissipation d'énergie.....	7
1.4 Analyse de l'interaction sol-fondations spécifique aux semelles isolées	7
1.4.1 Caractéristiques du sol.....	7
1.4.2 Modélisation du sol.....	7

1.4.3	Effets de la charge	8
1.4.4	Effets dynamiques.....	8
1.5	Méthodologie de l'analyse dynamique	8
1.6	Propriétés du Sol et Leur Influence sur les Semelles Isolées.....	8
1.6.1	Type de Sol	9
1.6.2	Types de fondations superficielles	9
1.6.3	Définition des semelles isolées.....	10
1.6.4	Réalisation des semelles isolées	10
1.6.5	Influence des propriétés du sol.....	10
1.7	Avancées Technologiques dans l'Analyse des Semelles Isolées.....	10
1.7.1	Modélisation numérique	10
1.7.2	Méthodes d'analyse avancées	11
1.7.3	Utilisation de capteurs et de technologies de surveillance	11
1.7.4	Utilisation de matériaux innovants	11
1.8	Impact de la Réglementation Sismique sur la Conception de semelle isolée :	11
1.8.1	Normes de conception.....	11
1.8.2	Classification sismique	11
1.8.3	Analyse sismique	12
1.8.4	Renforcement sismique	12
1.9	Les enjeux de l'ISS	12
1.9.1	Fiabilisation de la conception.....	12
1.9.2	Réduction des efforts internes.....	12
1.9.3	Prévention des effets indésirables	12
1.9.4	Conformité aux normes	13
1.10	Prise en compte du séisme de interaction sol.....	13
1.11	Methode interaction de sol	14
1.11.1	Méthode des éléments finis.....	14
1.11.2	Méthode des ressorts	14
1.11.3	Méthode des coefficients de réaction	14
1.11.4	Méthode des équations de la mécanique des sols.....	14
1.12	Méthode appliquée.....	14
1.12.1	La méthode des ressorts	14
1.13	Caractéristiques de methode	16
1.13.1	Utilisation des propriétés élastiques.....	16
1.13.2	Modélisation semi-analytique.....	17
1.13.3	Subdivision en tronçons	17
1.13.4	Détermination de la force limite	17

1.13.5	Chargement par incréments.....	17
1.13.6	Courbe de charge limite	17
1.13.7	Prise en compte des paramètres du sol.....	17
1.14	Etude de Ressorts	18
1.15	formulation	19
1.15.1	Formules de Newmark-Rosenblueth	19
1.15.2	methode simplifiée de Veletos.....	20
1.16	conclusion	21
2	Présentation de l'ouvrage et des réponses étudiées :	22
2.1	inroduction.....	22
2.2	Description du bâtiment étudié.....	22
2.2.1	Caractéristiques géométriques.....	22
2.2.2	Caratéristiques fonctionnelles.....	25
2.2.3	Caractéristiques structurelles.....	26
2.3	règles de calcul et logicieles adoptés.....	26
2.3.1	règles de calcul	26
2.3.2	logicieles adoptés :	26
2.4	Evaluation des charges et surcharges	27
2.4.1	Charges permanentes et surcharges d'exploitation	27
2.4.2	Charges sismique	28
2.5	Raideures des sols	31
2.5.1	Evaluation des actions et des raideurs du sol.....	31
2.5.2	calcul et des raideurs du sol.....	32
2.6	Les réponses étudiées.....	33
3	modélisation est calcul numerique	34
3.1	introduction	34
3.2	etude du batiment avec structure encastrement.....	34
3.2.1	les périodes propres T.....	35
3.2.2	la force sismique.....	35
3.2.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement	36
3.2.4	Déplacement inter étages aux forces sismiques :	37
3.2.5	les efforts dans de quelques éléments :	38
3.3	Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S1	
	43	
3.3.1	les périodes propres T.....	44
3.3.2	la force sismique.....	44

3.3.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement :	44
3.3.4	Déplacement inter étages aux forces sismiques	45
3.3.5	les efforts dans de quelques éléments.....	46
3.4	Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S2	51
3.4.1	les périodes propres T.....	51
3.4.2	la force sismique.....	51
3.4.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement	51
3.4.4	Déplacement inter étages aux forces sismiques	52
3.4.5	les efforts dans de quelques éléments.....	54
3.5	Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S3	59
3.5.1	les périodes propres T.....	59
3.5.2	la force sismique.....	59
3.5.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement	59
3.5.4	deplacement inter etages aux force sismique.....	60
3.5.5	les efforts dans de quelques éléments.....	61
3.6	etude de la structure en tenant compte de l'interaction sol structure cas du site S4 .	66
3.6.1	les périodes propres T.....	66
3.6.2	la force sismique.....	66
3.6.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement	67
3.6.4	deplacement inter etages aux force sismique.....	68
3.6.5	les efforts dans de quelques éléments.....	69
4	Analyse et interpretation du résultats numériques	74
4.1	Introduction	74
4.2	Effet de la prise en compte de l'interaction sur la periode	74
4.2.1	Diagramme).....	75
4.3	Effet de la prise en compte de l'interaction sur la force sismique.....	76
4.3.1	Diagramme des valeur EX et EY	76
4.4	Effet de la prise en compte de l'interaction sur le deplacement total	77
4.4.1	Effet de la prise en compte de l'interaction sur le deplacement total aux force sismique δ_{ek}	77
4.4.2	Diagramme	78
4.4.3	Effet de la prise en compte de l'interaction sur le deplacement total absolut $\delta_{k..}$	79
4.4.4	Diagramme	79
4.5	Effet de la prise en compte de l'interaction sur le facteur de sécurité vis- à-vis du renversement	80

4.5.1	<i>Diagramme</i>	81
4.6	Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts des éléments	82
4.6.1	Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts de poutre .	82
4.6.2	Diagramme.....	82
4.6.3	Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts de poteau .	84
4.6.4	Diagramme.....	84
4.6.5	Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts tranchant (T) de voile	85
4.6.6	Diagramme.....	86
4.6.7	Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts normal (N) de voile :	87
4.6.8	Diagramme.....	87
4.6.9	Effet de la prise en compte de l'interaction sur le moment M_{xx} et M_{yy} de voile	88
4.6.10	Diagramme.....	89
4.7	Conclusion	90

Table des figures



1.1	Problèmes abordés et échelles d'analyse : des effets de site (a) à l'interaction site-ville (c), en passant par l'interaction structure / sol (b).....	3
1.2	Comportement linéaire et non linéaire du sol	4
1.3	Illustration de L'interaction cinématique et l'interaction inertielle	6
1.4	ouvrage a concevoir deux modèle géotechniaue et structures	15
1.5	Schématisation d'une approche par sous-structure pour l'analyse de l'interaction sol-structure en utilisant deux configurations de fondation : (i) fondation rigide ; ou (ii) fondation flexibles	16
1.6	Schématisation de l'interaction sol-structure [A. Seghir, 2011]	18
1.7	Représentations schématique des déformations provoquées par la force appliquée sur : (a) structure à base fixe ; (b) structure avec flexibilité verticale, horizontale, et rotationnelle à sa base.....	18
1.8	modèle de modelisation du sol par element ressort.	19
1.9	Abaque donnant les coefficients de Newmark	20
2.1	Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie	23
2.2	facade principal.....	23
2.3	facade posterieur.....	24
3.1	batiment R+4 en cas encastrement	34
3.2	Effort dans la poutre MY sous ELU.....	38
3.3	Effort dans la poutre MY sous (G+Q+EX).....	38
3.4	Effort dans la poutre MY sous (G+Q+EX) t.....	39
3.5	diagramme de MY.....	39
3.6	diagramme de FZ.....	39
3.7	diagramme de FX.....	40
3.8	diagramme de MY.....	41

3.9	diagramme de FX.....	42
3.10	: modélisation du bâtiment par la méthode des ressorts cas du site (S1).....	43
3.11	vue en plan au niveau du sol	43
3.12	Effort dans la poutre MY sous ELU) cas S1	46
3.13	Effort dans la poutre MY sous ,G+Q+E	46
3.14	effort MY ,G+Q-E.....	47
3.15	diagramme de poutre MY	47
3.16	diagramme de FZ	47
3.17	diagramme de FX	48
3.18	diagramme de MY	49
3.19	diagramme de FX	50
3.20	Effort dans la poutre MY sous ELU.....	54
3.21	Effort dans la poutre MY sous , G+Q+EX	54
3.22	Effort dans la poutre MY sous , G+Q-EX	55
3.23	diagramme de MY.....	55
3.24	diagramme de FZ	55
3.25	diagramme de FX	56
3.26	diagramme de MY.....	57
3.27	diagramme de FX	58
3.28	Effort dans la poutre MY sous ELU.....	61
3.29	Effort dans la poutre MY sous ,G+Q+EX.....	62
3.30	Effort dans la poutre MY sous ,G+Q-EX	62
3.31	diagramme de MY.....	62
3.32	diagramme de FZ	63
3.33	diagramme de FX	63
3.34	diagramme de MY.....	64
3.35	diagramme de FX	65
3.36	Effort dans la poutre MY sous ELU.....	69
3.37	Effort dans la poutre MY sous , G+Q+EX.....	69
3.38	Effort dans la poutre MY sous , G+Q-EX	70
3.39	diagramme de MY.....	70
3.40	diagramme de FZ	70
3.41	diagramme de FX	71
3.42	diagramme de MY.....	72
3.43	diagramme de FX	73
4.1	variation de la période fondamentale en fonction de la raideur du sol.....	75
4.2	variation de la force sismique dynamique en fonction de la raideur du sol.....	76

4.3	variation de le deplacement total aux force sismique en fonction de la raideur du sol	78
4.4	variation de deplacement absolu en fonction de la raideur du sol.....	79
4.5	: variation de le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement	81
	en fonction de la raideur du sol	
4.6	variation de les effort de poutre en fonction de la raideur du	82
	sol	
4.7	variation de les efforts de poteau en fonction de la raideur du.	84
	sol	
4.8	variation des efforts tranchant de voile en fonction de la	86
	raideur du sol	
4.9	variation de les efforts normal de voile en fonction de la	87
	raideur du sol	
4.10	variation de le moment de voile en fonction de la raideur du	89
	sol	

Liste des tableaux



1.1	tableau des déférentes Catégorie de site selon (RPA99vs 2003).....	9
1.2	Tableau des mouvements, hauteurs, amortissements et raideurs.....	19
1.3	tableau de formule de Veletos.....	20
2.1	Table de charge et surcharges.....	27
2.2	tableau de pénalité.....	30
2.3	tableau des valeur des raideurs du sol Formules de Newmark-Rosenblueth.....	32
2.4	tableau des caractéristique géotechnique des site.....	32
2.5	tableau des valeur des raideurs de chaque site.....	33
3.1	tableau des périodes.....	35
3.2	tableau de renversement sens x.x.....	36
3.3	tableau de renversement sense y.y.....	36
3.4	tableau de déplacement sense x.x.....	37
3.5	tableau de déplacement sense y.y.....	37
3.6	déplacement absolus.....	37
3.7	tableau des efforts dans la poutre.....	40
3.8	tableau des efforts poteau encastrement.....	41
3.9	Tableau des moments et des forces dans le voile.....	42
3.10	tableau des périodes.....	44
3.11	tableau de renversement sens x.x cas (S1).....	44
3.12	tableau de renversement sens y.y cas (S1).....	45
3.13	tableau de déplacement sense x.x cas de (S1).....	45
3.14	tableau de déplacement sense y.y cas de (S1).....	45
3.15	tableau des déplacements absolus).....	46
3.16	tableau des efforts dans la poutre.....	48
3.17	tableau des efforts dans le poteau).....	49

3.18	Tableau des moments et des forces dans le voile	50
3.19	tableau des valeur de periode cas (S2)	51
3.20	tableau de renversement sense x.x cas (S2).....	56
3.21	tableau de renversement sense y.y cas (S2).....	56
3.22	tableau de deplacement sense x.x cas (S2)	57
3.23	tableau de deplacement sense y.y cas S2	57
3.24	tableau de deplacement absolus cas (S2)	57
3.25	tableau des efforts dans la poutre.....	58
3.26	tableau des efforts dans le poteau	59
3.27	Tableau des moments et des forces dans le voile	60
3.28	tableau de periode cas S3.....	61
3.29	Tableau de renversement sens x.x cas S3.....	62
3.30	Tableau de renversement sens y.y cas S3	62
3.31	tableau de deplacement sens x.x cas S3	63
3.32	tableau de deplacement sense y.y cas s3.....	63
3.33	deplacement absolus cas s3.....	63
3.34	tableau des efforts de poutre	64
3.35	Tableau des efforts de poteau.....	65
3.36	Tableau des moments et des forces dans le voile	66
3.37	tableau de periode cas S4.....	67
3.38	tableau de renversement sens x.x cas S4.....	68
3.39	tableau de renversement sense y.y cas S4	68
3.40	tableau de deplacement sense x.x cas S4.....	69
3.41	tableau de deplacement sens y.y cas S4.....	69
3.42	tableau de deplacement absolus cas S4.....	69
3.43	tableau des efforts de poutre.....	70
3.44	tableau des efforts de poteau.....	71
3.45	Tableau des moments et des forces dans le voile	72
4.1	variation de la période fondamentale en fonction de la raideur du sol	73
4.2	variation de la force sismique dynamique en fonction de la raideur du sol	75
4.3	variation de le deplacement total aux force sismique en fonction de la raideur du sol	77
4.4	variation de deplacement absolus en fonction de la raideur du sol.....	79
4.5	variation de le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction de la raideur du sol.....	81
4.6	variation de les effort de poutre en fonction de la raideur du sol	83
4.7	variation de les effort de poteau en fonction de la raideur du sol	85
4.8	variation des efforts tranchant de voile en fonction de la raideur du sol.....	86
4.9	variation de les efforts normal de voile en fonction de la raideur du sol.....	88
4.10	variation de le moment de voile en fonction de la raideur du sol	89

Liste des ABREVIATIONS

- ▶ A : aire de la fondation
- ▶ a : dimension parallèle à la direction du séisme
- ▶ b : dimension perpendiculaire à la direction du séisme
- ▶ M_b : masse du bâtiment
- ▶ $M_s = AH\rho$: masse de sol additionnelle ayant même aire que la fondation du bâtiment
- ▶ H : hauteur du prisme de sol
- ▶ I_b, J_b : inerties massiques du bâtiment par rapport à la fondation
- ▶ I_s, J_s : inerties massiques de la masse additionnelle de sol par rapport à la fondation
- ▶ r_0 : rayon d'une fondation circulaire
- ▶ ν : coefficient de poisson
- ▶ β_s, β_x et β_ϕ sont des paramètres dépendant du rapport a/b et ils sont donnés par l'abaque Figure 1.9
- ▶ G : le module de cisaillement
- ▶ ν : le coefficient de Poisson
- ▶ R : le rayon de la fondation circulaire ou le rayon équivalent
- ▶ D : la profondeur d'encastrement de la fondation
- ▶ K_x : Raideur statique horizontale suivant l'axe x
- ▶ K_y : Raideur statique horizontale suivant l'axe y
- ▶ K_v : Raideur statique verticale
- ▶ K_θ : Raideur statique balancement
- ▶ kh : Raideur statique horizontale

Introduction générale



L'étude de la réponse dynamique des structures est un domaine crucial en ingénierie civile, particulièrement dans le contexte de la conception sismique. Les fondations jouent un rôle déterminant dans la manière dont une structure réagit aux charges dynamiques, telles que celles induites par des séismes. L'interaction sol-structure (ISS) ou plus précisément l'interaction sol fondation est un phénomène complexe qui influe de manière significative sur cette réponse dynamique. Dans ce cadre, l'analyse de semelles isolées offre une vue détaillée de cette interaction, permettant d'améliorer la conception et la résilience des structures.

Contexte et Importance de l'Étude

Traditionnellement, les analyses structurales se basent sur l'hypothèse que les fondations sont parfaitement rigides et que le sol est un support immuable. Cependant, cette simplification peut mener à des estimations inexactes des mouvements et des forces internes dans les structures. En réalité, le sol et les fondations interagissent de manière dynamique, modifiant ainsi la manière dont les forces sismiques sont transmises et dissipées. La prise en compte de l'ISS permet de mieux comprendre cette dynamique et de concevoir des structures plus sûres et plus performantes.

Objectifs de l'Étude

Cette recherche vise à :

1. Analyser les effets de l'interaction sol-fondation sur la réponse dynamique d'une structure reposant sur une semelle isolée.
2. Comparer les résultats obtenus avec ceux des modèles traditionnels qui n'incluent pas l'ISS.
3. Identifier les paramètres clés influençant cette interaction et proposer des recommandations pour la conception de fondations.

Etude Bibliographique

Introduction

L'interaction sol-fondation est un aspect crucial de la conception des structures en génie civil, qui prend en compte la manière dont les fondations d'un bâtiment ou d'une autre structure interagissent avec le sol sur lequel elles sont construites. Cela est particulièrement important pour les semelles isolées, qui sont un type de fondation utilisé pour supporter des charges concentrées à des points spécifiques, comme les poteaux ou les colonnes. Les semelles isolées sont généralement carrées, rectangulaires ou circulaires et sont conçues pour répartir la charge du poteau ou de la colonne sur une plus grande surface de sol pour éviter un tassement excessif ou inégal. L'interaction - fondation pour ces types de fondations dépend de plusieurs facteurs :

1. Type de sol : Les caractéristiques du sol, telles que la cohésion, l'angle de frottement interne, et la compressibilité, affectent la capacité de charge et le comportement de tassement de la fondation
2. Profondeur de la fondation : La profondeur à laquelle la semelle est placée peut influencer sa capacité à supporter des charges, en raison de la variation des caractéristiques du sol avec la profondeur
3. Taille et forme de la semelle : Ces facteurs déterminent la répartition de la pression sur le sol et peuvent affecter la manière dont le sol réagit aux charges appliquées
4. Charge appliquée : La magnitude, la direction et la distribution des charges (permanentes et variables) influencent la réaction du sol et donc la conception de la fondation. Pour concevoir une semelle isolée en tenant compte de l'interaction sol-fondation, les ingénieurs utilisent des méthodes analytiques et numériques. Ces méthodes permettent d'évaluer la capacité portante du sol (résistance à l'enfoncement sous les charges appliquées) et le tassement potentiel de la fondation sous ces charges. Il est essentiel de concevoir la fondation pour qu'elle ne dépasse pas la capacité portante du sol et pour limiter le tassement à des valeurs acceptables pour la structure. Des

essais de sol sont souvent réalisés pour obtenir les données nécessaires sur les propriétés du sol. Sur la base de ces données, les ingénieurs peuvent déterminer les dimensions et la profondeur appropriées pour les semelles isolées afin d'assurer la sécurité et la stabilité de la structure.

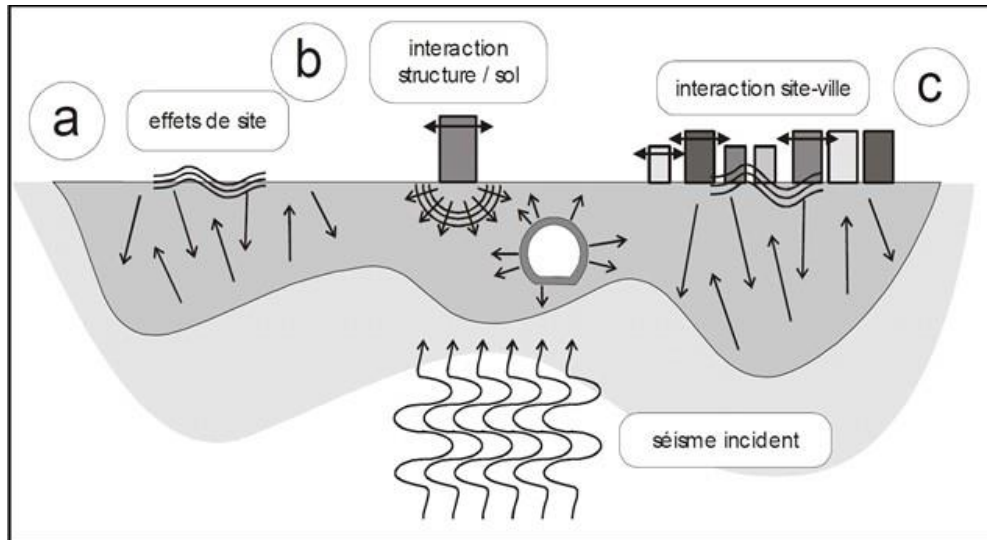


Figure 1.1 : Problèmes abordés et échelles d'analyse : des effets de site (a) à l'interaction site-ville (c), en passant par l'interaction structure / sol (b)

Le sol peut avoir un comportement linéaire comme il peut avoir aussi un comportement non linéaire matériel (figure 1.2). Ce type de non linéarité surgit quand le matériau du sol a un rapport non linéaire entre les contraintes-déformations, tout en sachant que dans le cas linéaire, les relations contraintes-déformations sont définies seulement par l'intermédiaire du module d'élasticité E . En revanche dans le cas de l'analyse non linéaire du sol, le module d'élasticité est seulement le premier point de définition du comportement global

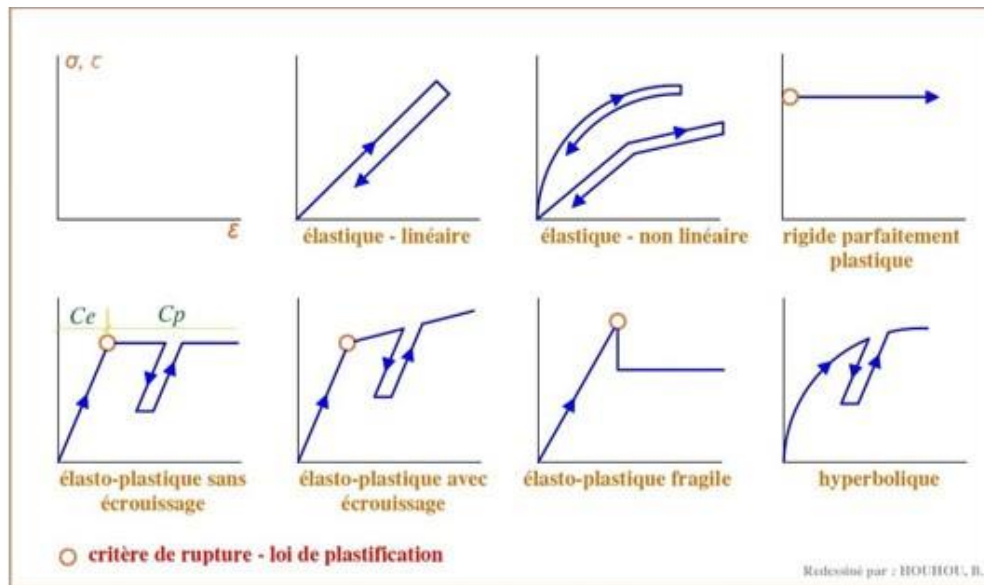


FIGURE 1.2 : Comportement linéaire et non linéaire du sol

1.1 L'interaction sol-fondation cinématique

L'interaction sol-fondation cinématique est un aspect essentiel dans la compréhension du comportement des ouvrages sous sollicitation sismique. Elle fait partie de l'interaction sol-structure (ISS), qui est une discipline spécialisée regroupant des notions de géotechnique, de sismologie de l'ingénieur, de dynamique des sols et des structures. Sous l'impulsion des textes du référentiel "Eurocode" et en particulier des Eurocodes 7 et 8, une révision complète des documents en lien avec le sol et les fondations des ouvrages a été entreprise. Les codes de dimensionnement des ouvrages en zone sismique, tels que l'Eurocode 8, encouragent désormais la pratique de l'interaction sol-structure en condition statique et dynamique dans le dimensionnement des ouvrages. Les effets cinématiques de l'interaction sol-fondation sont abordés dans un article qui rassemble les bases de l'ISS et fournit aux ingénieurs les étapes essentielles ainsi que les niveaux successifs de détail pour l'analyse. Il identifie également les paramètres sur lesquels l'ingénieur peut agir lors du dimensionnement. En complément de l'interaction sol-ouvrage, qui est décrite grâce à la mécanique des milieux élastiques et/ou viscoélastiques, l'article explore la stabilité des ouvrages sous sollicitation dynamique, notamment les effets de renversement et de glissement au niveau de l'interface sol-structure. Il présente également des méthodes de calcul des profils de déplacement horizontal du sol pour évaluer les efforts se développant dans les fondations profondes. Pour les fondations superficielles, des approches réglementaires concernant la stabilité au glissement et au renversement sont complétées par des développements sur les effets spécifiques, pouvant être bénéfiques, sur le dimensionnement du décollement d'une semelle et sur ses déplacements irréversibles.

Enfin, l'article aborde la stabilité des ouvrages de soutènement sous séisme en explorant la méthode à la rupture dite de "Monobé Okabé", généralement utilisée pour les sols frottant. Il propose également une extension de cette méthode aux sols cohérents et un développement pour des surfaces de rupture non-planes dans un sol bicouche.

1.2 Interaction sol fondation inertielle

L'interaction sol-fondation inertielle est un autre aspect important de l'interaction sol-structure (ISS) dans le contexte des sollicitations sismiques. Elle concerne les effets liés à la masse et à l'inertie du sol et de la fondation lors d'un séisme. Voici quelques points clés à retenir sur l'interaction sol-fondation inertielle : Effets inertiels : Lors d'un séisme, les mouvements du sol induisent des forces inertielles sur les fondations. Ces forces sont dues à l'accélération du sol et à la masse de la fondation. Elles peuvent entraîner des déformations et des contraintes importantes dans la fondation et la structure.

Modèles d'analyse : Pour étudier l'interaction sol-fondation inertielle, différents modèles d'analyse sont utilisés. Cela inclut des modèles rhéologiques pour représenter le comportement du sol, ainsi que des modèles numériques pour simuler les effets dynamiques. Caractérisation de la réponse : La réponse du sol et de la fondation aux sollicitations sismiques peut être caractérisée par des méthodes d'analyse analogiques. Ces méthodes permettent de représenter de manière simplifiée les interactions inertiels entre le sol et la fondation. Effets de masse et amortissement radiatif : L'interaction sol-fondation inertielle prend en compte les effets de masse du sol et de la fondation, ainsi que l'amortissement radiatif du sol. Ces facteurs influencent la réponse dynamique de la fondation et peuvent avoir un impact significatif sur sa stabilité. En résumé, l'interaction sol-fondation inertielle est un aspect clé de l'interaction sol-structure lors de sollicitations sismiques. Elle prend en compte les effets de masse et d'inertie du sol et de la fondation, et nécessite l'utilisation de modèles d'analyse appropriés pour évaluer la réponse dynamique de la fondation.

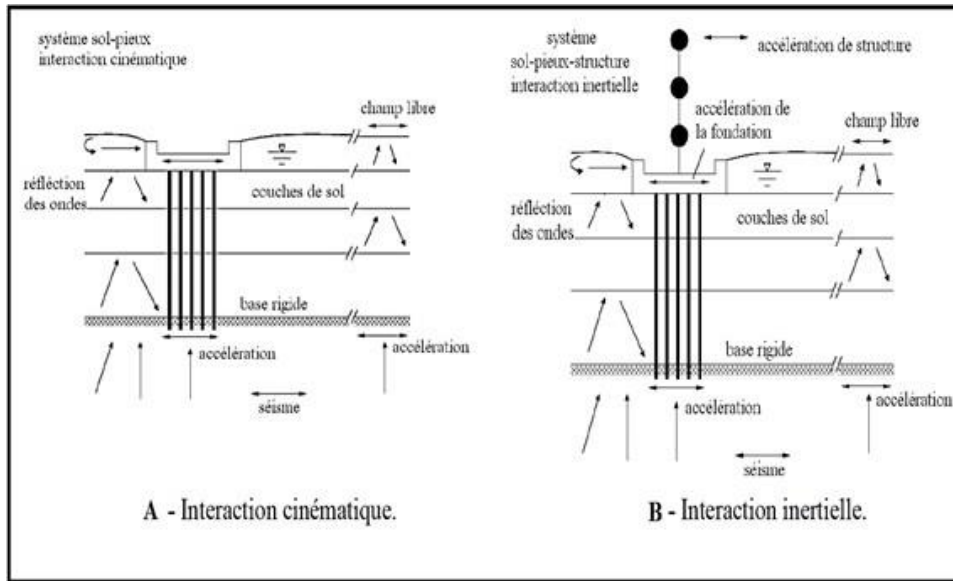


FIGURE 1.3 : Illustration de l'interaction cinématique et l'interaction inertielle

1.3 Les types de l'interaction sol-fondations sur la réponse dynamique de la structure

L'effet de l'interaction sol-fondations sur la réponse dynamique de la structure d'un bâtiment est un sujet important dans le domaine de l'ingénierie des structures. Dans le cas des semelles isolées, plusieurs types d'effets peuvent être observés. Voici quelques-uns d'entre eux :

1.3.1 Effet de raideur

: L'interaction sol-fondations peut modifier la raideur de la structure, ce qui peut avoir un impact sur sa réponse dynamique. En effet, la présence du sol peut augmenter la raideur effective de la fondation, ce qui peut réduire les déformations et les vibrations de la structure.

1.3.2 Effet de masse

: L'interaction sol-fondations peut également modifier la masse effective de la structure. Le sol peut agir comme une masse additionnelle, ce qui peut augmenter l'inertie de la fondation et donc modifier la réponse dynamique de la structure.

1.3.3 Effet de fréquence :

L'interaction sol-fondations peut également modifier les fréquences propres de la structure. En fonction des caractéristiques du sol, les fréquences naturelles de la structure peuvent être modifiées, ce qui peut avoir un impact sur sa réponse dynamique.

1.3.4 Effet de dissipation d'énergie

: L'interaction sol-fondations peut également jouer un rôle dans la dissipation d'énergie lors d'un événement sismique. Le sol peut absorber une partie de l'énergie sismique, ce qui peut réduire les vibrations et les déformations de la structure. Il est important de noter que ces effets peuvent varier en fonction des caractéristiques du sol, de la géométrie de la fondation et de la structure, ainsi que des charges appliquées. Une analyse détaillée de l'interaction sol-fondations est donc nécessaire pour évaluer correctement la réponse dynamique d'un bâtiment avec des semelles isolées.

1.4 Analyse de l'interaction sol-fondations spécifique aux semelles isolées

L'analyse de l'interaction sol-fondations spécifique aux semelles isolées est un aspect important dans la conception et l'évaluation des fondations des bâtiments. Cette analyse vise à comprendre comment le sol réagit aux charges appliquées par la structure et comment cela influence la réponse dynamique de la structure. Voici quelques points clés à considérer dans cette analyse :

1.4.1 Caractéristiques du sol

: Les propriétés géotechniques du sol, telles que sa cohésion, son angle de frottement, sa densité, sa compressibilité, etc., doivent être déterminées par des études géotechniques appropriées. Ces caractéristiques du sol sont essentielles pour évaluer la capacité portante de la semelle isolée et pour comprendre comment le sol réagit aux charges dynamiques .

1.4.2 Modélisation du sol

: Pour analyser l'interaction sol-fondations, il est nécessaire de modéliser le comportement du sol de manière réaliste. Différentes approches peuvent être utilisées, telles que les modèles élastiques, les modèles de ressorts non linéaires ou les modèles d'éléments finis. Ces modèles permettent de représenter les propriétés du sol et de simuler sa réponse sous

les charges appliquées.

1.4.3 Effets de la charge :

Les semelles isolées sont soumises à des charges verticales, horizontales et de moments provenant de la structure. L'interaction sol-fondations doit prendre en compte ces charges et évaluer comment elles sont transmises au sol. Cela peut inclure l'analyse des contraintes, des déformations et des déplacements du sol autour de la semelle isolée.

1.4.4 Effets dynamiques :

Lors d'un événement sismique, les forces d'inertie générées par la superstructure peuvent entraîner des sollicitations importantes sur les fondations. L'analyse de l'interaction sol-fondations doit prendre en compte ces forces dynamiques et évaluer comment elles influencent la réponse de la semelle isolée et de la structure dans son ensemble. Il est important de noter que l'analyse de l'interaction sol-fondations spécifique aux semelles isolées peut être complexe et nécessite une expertise en géotechnique et en ingénierie des structures. Des études géotechniques approfondies, des modélisations précises et des analyses rigoureuses sont nécessaires pour garantir la sécurité et la performance des fondations des bâtiments.

1.5 Méthodologie de l'analyse dynamique

Pour évaluer la réponse dynamique d'un bâtiment avec des semelles isolées, des méthodes telles que l'analyse modale, l'analyse temporelle dynamique et les simulations numériques sont utilisées. Les paramètres clés à prendre en compte comprennent la fréquence naturelle du bâtiment, l'amortissement, les forces sismiques ou éoliennes, et les déformations de la fondation. Les étapes de l'analyse comprennent la modélisation du bâtiment et des fondations, la définition des charges dynamiques, et l'évaluation des déformations et des contraintes dans la structure.

1.6 Propriétés du Sol et Leur Influence sur les Semelles Isolées

Les propriétés du sol ont une influence significative sur la conception et le dimensionnement des semelles isolées. Voici quelques informations sur les propriétés du sol et leur influence sur les semelles isolées, basées sur les résultats de recherche.

1.6.1 Type de Sol

1.6.1.1 Catégorie S1 (site rocheux)

Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement (VS) à 800m/s.

1.6.1.2 Catégorie S2 (site ferme)

Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur avec VS 400 m/s à partir de 10 m de profondeur

1.6.1.3 Catégorie S3 (site meuble)

Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec VS 200 m/s à partir de 10 m de profondeur

1.6.1.4 Catégorie S4 (site très meuble)

Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec VS < 200 m/s dans les 20 premiers mètres. - Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec VS < 200 m/s dans les 20 premiers mètres

Catégorie	Description	qc(MPA) (c)	N (d)	pl(MPA) (e)	Ep(MPA) (e)	qu(MPA) (f)	Vs(m/s) (g)
S1	Rocheux(a)	-	-	>5	>100-	>10	≥800
S2	Ferme	>15	>50	>2	>20	>0.4	≥400 - <800
S3	Meuble	1.5~15	10~ 50	1~2	5~20	01~0.4	≥200 - <400
S4	Très Meuble	<1.5	<10	<1	<5	<0.1	≥100 <200

TABLEAU 1.1 : tableau des différentes Catégorie de site selon (RPA99vs 2003).

1.6.2 Types de fondations superficielles

Avant de choisir des semelles isolées, il est important de noter qu'elles ne sont utilisées que dans des sols de bonne qualité. Si le sol n'est pas de bonne qualité, il est préférable d'utiliser des fondations profondes. Il existe plusieurs types de fondations superficielles, et le choix dépend de la répartition des charges exercées sur la fondation

1.6.3 Définition des semelles isolées

Les semelles isolées, également appelées semelles ponctuelles, sont des fondations placées sous des poteaux. Contrairement aux semelles filantes ou aux radiers, ces fondations ne sont pas continues sous la structure, mais sont localisées à des endroits spécifiques de la structure, généralement sous des poteaux. Les charges appliquées sur ces semelles sont considérées comme ponctuelles, ce qui explique leur appellation. Le dimensionnement se fait généralement en fonction d'une base carrée ou rectangulaire.

1.6.4 Réalisation des semelles isolées

La réalisation d'une semelle isolée se fait en plusieurs étapes. Tout d'abord, une fine couche de béton sans ferrailage est coulée pour créer une couche légèrement plus résistante et protéger la semelle contre les agressions du sol. Ensuite, la semelle principale est coulée avec une épaisseur plus importante et peut être ferrillée en fonction de la portance du sol. L'utilisation du ferrailage dépend des propriétés mécaniques du sol et de la charge exercée sur la semelle. Enfin, les semelles isolées sont généralement réalisées lorsque les poteaux sont suffisamment éloignés les uns des autres.

1.6.5 Influence des propriétés du sol

Les propriétés du sol, telles que sa portance et sa contrainte, ont une influence sur la conception des semelles isolées. Si le sol a une portance suffisante et que la descente de charge dans la semelle est faible, il peut ne pas être nécessaire d'utiliser des armatures, ce qui rendrait la structure plus onéreuse. En revanche, si le sol a une faible portance et que les charges sont importantes, l'ajout d'armatures est nécessaire pour renforcer la solidité de la semelle et assurer la stabilité de l'ouvrage.

1.7 Avancées Technologiques dans l'Analyse des Semelles Isolées

Les avancées technologiques ont considérablement amélioré l'analyse et la conception des semelles isolées. Voici quelques-unes des avancées les plus importantes dans ce domaine :

1.7.1 Modélisation numérique

Les logiciels de modélisation numérique permettent de simuler le comportement des semelles isolées en prenant en compte les propriétés du sol, les charges appliquées et les conditions environnementales. Ces outils permettent d'obtenir des résultats plus précis et

de réduire les marges d'erreur dans la conception des semelles isolées.

1.7.2 Méthodes d'analyse avancées

Les méthodes d'analyse avancées, telles que la méthode des éléments finis, sont de plus en plus utilisées pour analyser le comportement des semelles isolées. Ces méthodes permettent de prendre en compte des facteurs tels que la non-linéarité du sol, les effets de consolidation et les interactions sol-structure, ce qui conduit à des résultats plus précis et fiables.

1.7.3 Utilisation de capteurs et de technologies de surveillance

Les capteurs et les technologies de surveillance sont de plus en plus utilisés pour évaluer en temps réel le comportement des semelles isolées. Ces technologies permettent de mesurer les déformations, les contraintes et les mouvements du sol, ce qui permet de détecter rapidement d'éventuels problèmes et de prendre des mesures correctives si nécessaire

1.7.4 Utilisation de matériaux innovants

Les avancées dans les matériaux de construction ont également un impact sur l'analyse des semelles isolées. Par exemple, l'utilisation de béton renforcé de fibres permet d'améliorer la résistance et la durabilité des semelles isolées, ce qui peut réduire les coûts de maintenance à long terme.

1.8 Impact de la Réglementation Sismique sur la Conception de semelle isolée :

1.8.1 Normes de conception

La réglementation sismique impose des normes spécifiques pour la conception des fondations afin de garantir leur résistance aux séismes. En Europe, la norme EN 1998 (Eurocode 8) est largement utilisée pour la conception parasismique des structures, y compris les fondations.

1.8.2 Classification sismique

La réglementation sismique classe les zones géographiques en fonction de leur niveau d'activité sismique. Cette classification est utilisée pour déterminer les charges sismiques auxquelles les fondations doivent résister

1.8.3 Analyse sismique

La réglementation sismique exige une analyse sismique détaillée pour évaluer les forces sismiques agissant sur les fondations. Cette analyse prend en compte des paramètres tels que l'accélération sismique, la période de vibration de la structure et les caractéristiques du sol.

1.8.4 Renforcement sismique

Dans les zones à forte activité sismique, la réglementation peut exiger des mesures de renforcement supplémentaires pour les semelles isolées afin de garantir leur stabilité et leur résistance aux séismes.

1.9 Les enjeux de l'ISS

L'interaction sol-structure (ISS) est un concept essentiel dans la conception des ouvrages en conditions statiques et sismiques. Voici les enjeux de l'ISS, tels qu'identifiés dans les résultats de recherche :

1.9.1 Fiabilisation de la conception

L'ISS permet de garantir la fiabilité de la conception des ouvrages en prenant en compte l'interaction entre le sol de fondation, les fondations et la superstructure

1.9.2 Réduction des efforts internes

Une caractérisation réaliste de l'ISS peut permettre de diminuer les efforts internes dans la structure, ce qui peut avoir un impact positif sur la durabilité et la sécurité de l'ouvrage

1.9.3 Prévention des effets indésirables

L'ISS permet également d'identifier et de prévenir les effets indésirables qui pourraient survenir en cas de sollicitation sismique, tels que des déformations excessives ou des dommages structurels

1.9.4 Conformité aux normes

Les normes de dimensionnement des ouvrages en zone sismique, comme l'Eurocode 8, encouragent l'utilisation de l'ISS en condition statique et dynamique, ce qui nécessite une bonne compréhension de ce concept. Interdisciplinarité : L'ISS nécessite une expertise combinant les connaissances en sismologie, en dynamique des sols et des structures, ainsi qu'en géotechnique. Il s'agit donc d'un domaine spécifique qui peut nécessiter une collaboration entre différentes disciplines de l'ingénierie

1.10 Séisme et interaction du sol-structures

L'interaction sol-structure est un concept important dans l'étude des séismes. Lors d'un tremblement de terre, les ondes sismiques qui se propagent dans le sol peuvent mettre en mouvement les bâtiments et les ouvrages d'art. Ces structures doivent exercer des efforts importants sur le sol environnant pour maintenir leur équilibre. En retour, les ouvrages génèrent de nouvelles ondes sismiques, ce qui crée un phénomène d'interaction sol-structure, également appelé "ISS". L'interaction sol-structure est influencée par plusieurs facteurs, notamment la nature du sol sur lequel les structures sont construites. Les constructions assises sur un sol rocheux résistent généralement mieux aux séismes que celles fondées sur un sol meuble. Cependant, la dissipation d'énergie par interaction sol-structure est plus importante dans le cas d'un sol meuble. Lors de l'interaction sol-structure, une partie de l'énergie transmise à la construction est renvoyée dans le sol et dissipée par deux mécanismes distincts : l'atténuation par radiation, où des ondes sismiques mettent en vibration un volume de plus en plus grand de terrain, et l'amortissement interne du sol, qui se produit lors des déformations du sol et se dissipe en chaleur. Il est essentiel d'évaluer le risque sismique d'une région avant de construire des bâtiments. En France, par exemple, le code de l'environnement et les Eurocodes introduisent un zonage sismique et des règles de construction parasismique pour concevoir des ouvrages résistants aux tremblements de terre. Les Eurocodes permettent de comprendre l'interaction entre les bâtiments et le sol, de prévoir les conséquences potentielles des tremblements de terre et de concevoir des structures adaptées. La compréhension de l'interaction sol-structure est cruciale lors des phases de dimensionnement des ouvrages géotechniques. Les effets observables sur les ouvrages et leurs fondations lors d'un séisme révèlent la complexité de cette interaction et la variabilité des propriétés géologiques de chaque site. Des outils pratiques sont disponibles pour les concepteurs et techniciens afin de prendre en compte cette interaction lors de l'ingénierie des fondations et des ouvrages de soutènement.

1.11 Méthodes d'étude de l'interaction sol structures

L'interaction sol-fondation est un aspect crucial dans la conception et le calcul des bâtiments. Elle concerne la manière dont le sol réagit aux charges exercées par la structure du bâtiment et comment ces charges sont transmises aux fondations. Voici quelques méthodes couramment utilisées pour étudier l'interaction sol-fondation de bâtiment cas de semelle isolée

1.11.1 Méthode des éléments finis

Cette méthode numérique permet de modéliser le comportement du sol et de la structure en utilisant des éléments discrets. Elle permet de prendre en compte les non-linéarités du sol et de simuler les interactions entre le sol et la fondation.

1.11.2 Méthode des ressorts

Cette méthode simplifiée consiste à modéliser le sol comme un ensemble de ressorts et d'amortisseurs. Chaque ressort représente une caractéristique du sol, comme sa rigidité ou sa capacité à absorber les vibrations

1.11.3 Méthode des coefficients de réaction

Cette méthode utilise des coefficients empiriques pour estimer les réactions du sol aux charges exercées par la structure. Ces coefficients sont déterminés à partir de données expérimentales ou de normes de conception

1.11.4 Méthode des équations de la mécanique des sols

Cette méthode se base sur les équations de la mécanique des sols pour analyser l'interaction sol-fondation. Elle prend en compte les propriétés du sol, comme sa densité, sa cohésion et son angle de frottement interne.

1.12 Méthode utilisée dans l'étude :

La méthode utilisée dans l'étude est celle des ressorts

1.12.1 Principe

La méthode des ressorts et des amortisseurs est une méthode simple et efficace pour modéliser l'interaction sol-fondations. Cette méthode consiste à représenter le sol par des ressorts et des amortisseurs discrets qui relient les fondations à un support rigide

1.12.1.1 Ressorts

• Les ressorts représentent la raideur du sol • La raideur des ressorts est définie par le module de Young du sol et par la géométrie de la fondation. Il existe différents types de ressorts, tels que les ressorts verticaux, horizontaux et de rotation

1.12.1.2 Amortisseurs

Des amortisseurs est une approche couramment utilisée pour modéliser l'interaction sol fondations, y compris dans le cas des semelles isolées. Cette méthode simplifie la modélisation en considérant le comportement du sol et de la fondation comme des éléments élastiques et amortissants. Voici comment cette méthode peut être appliquée pour modéliser l'interaction sol-fondations dans le cas des semelles isolées, Caractérisation du sol : Tout d'abord, il est nécessaire de caractériser le comportement mécanique du sol. Cela implique généralement la réalisation d'essais de laboratoire et d'essais sur le terrain pour déterminer les propriétés géotechniques du sol, telles que la capacité portante, la compressibilité et la résistance au cisaillement.

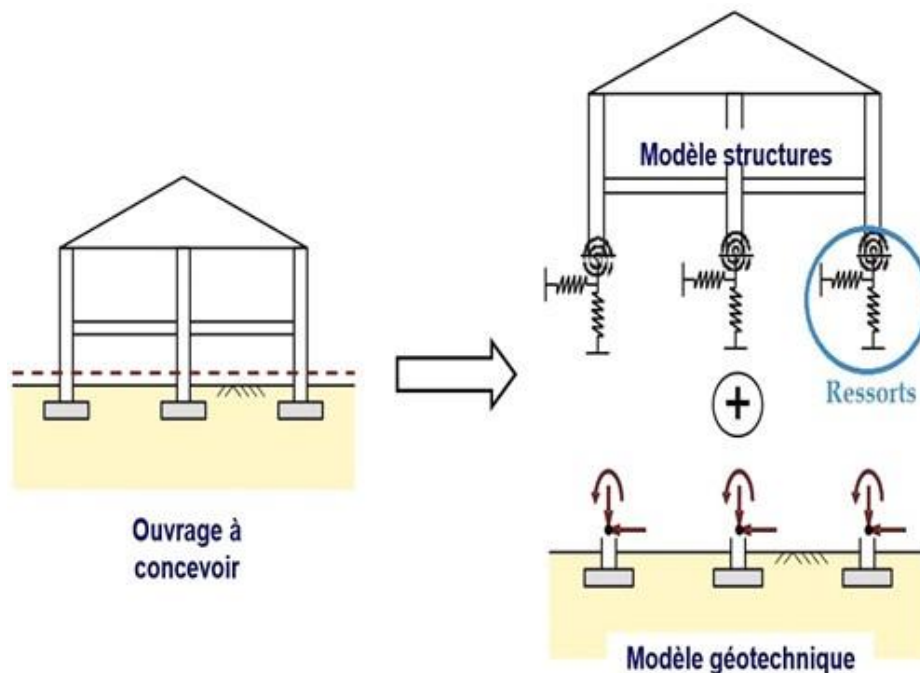


FIGURE 1.4 : ouvrage a concevoir deux modèle géotechnique et structures

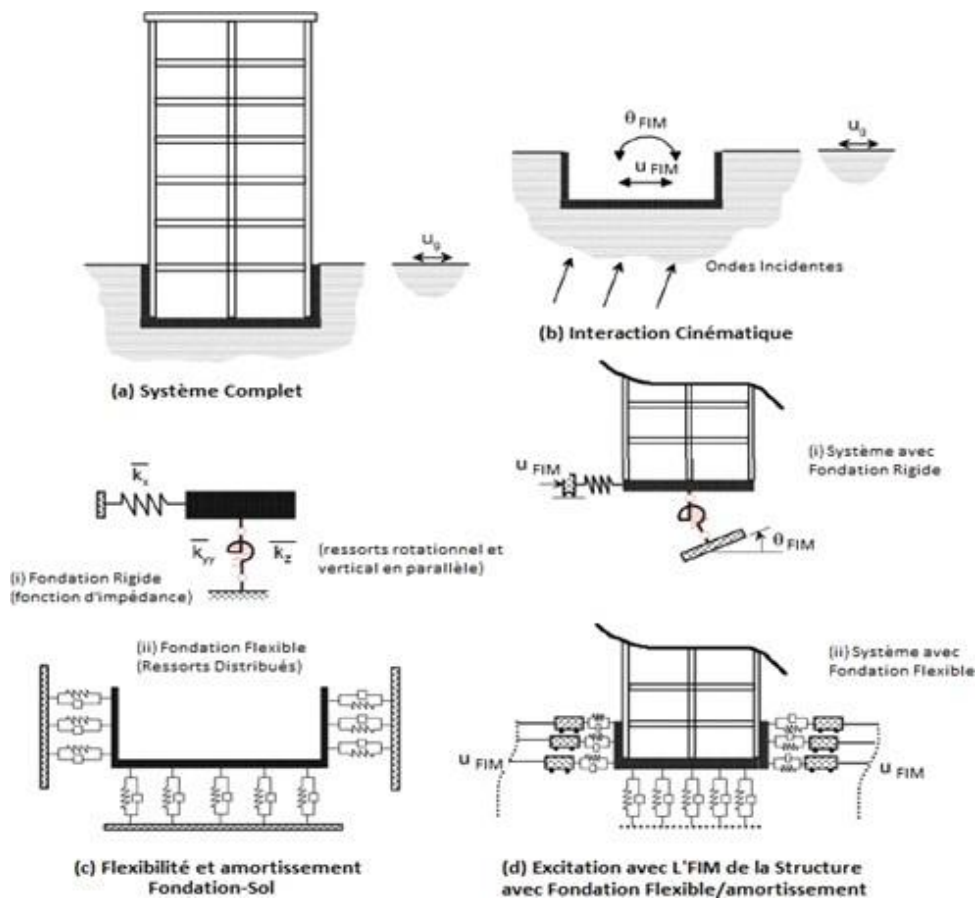


FIGURE 1.5 : Schématisation d'une approche par sous-structure pour l'analyse de l'interaction sol-structure en utilisant deux configurations de fondation : (i) fondation rigide ; ou (ii) fondation flexible.

1.13 Caractéristiques de la méthode

Il convient de noter que la méthode des ressorts et des amortisseurs est une simplification de la réalité et ne capture pas tous les aspects complexes de l'interaction sol-fondations. Cependant, elle est largement utilisée dans la pratique de l'ingénierie géotechnique en raison de sa simplicité et de sa facilité d'application. La méthode des ressorts est une approche utilisée en génie civil pour analyser le comportement des structures soumises à des charges. Voici les caractéristiques principales de cette méthode :

1.13.1 Utilisation des propriétés élastiques

La méthode des ressorts exploite les propriétés élastiques des matériaux pour modéliser le comportement des structures. Les ressorts sont utilisés pour représenter la résistance au cisaillement du revêtement et la raideur du sol.

1.13.2 Modélisation semi-analytique :

La méthode des ressorts repose sur une approche semi-analytique pour résoudre les problèmes de génie civil. Elle combine des modèles analytiques classiques avec des modèles de ressorts pour obtenir des résultats précis.

1.13.3 Subdivision en tronçons :

Dans le calcul, la structure est subdivisée en plusieurs tronçons. Chaque tronçon est caractérisé par un ressort qui représente sa raideur. Cette subdivision permet d'obtenir une analyse détaillée du comportement de la structure.

1.13.4 Détermination de la force limite :

Pour chaque tronçon, la valeur limite de la force de cisaillement transmise par le revêtement est déterminée. Cette valeur limite représente la capacité portante maximale du tronçon.

1.13.5 Chargement par incréments

La structure est chargée à son extrémité supérieure par incréments de charge verticale. Pour chaque incrément de charge, l'intensité de la force du ressort est déterminée pour chaque tronçon. Cependant, elle ne peut pas dépasser la valeur limite du frottement latéral.

1.13.6 Courbe de charge limite

Le calcul fournit la courbe de charge limite, qui représente la relation entre la charge appliquée et la déformation de la structure. Cette courbe permet de déterminer la capacité portante de la structure.

1.13.7 Prise en compte des paramètres du sol

La méthode des ressorts permet de spécifier les paramètres d'entrée requis pour les sols, tels que l'angle de frottement interne, la cohésion, le poids volumique et le module de déformation. Ces paramètres influencent le comportement de la structure.

1.14 Etude de Ressorts

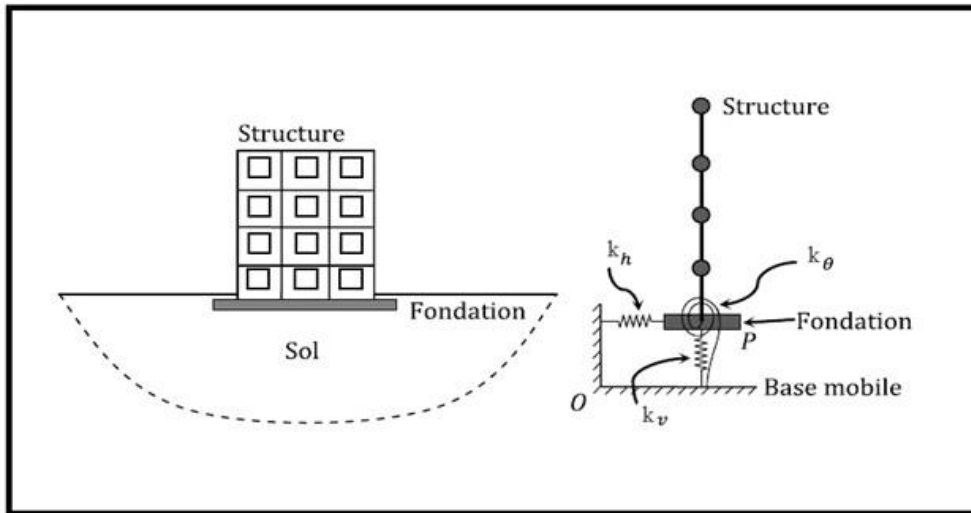


FIGURE 1.6 : Schématisation de l'interaction sol-structure [A. Seghir, 2011]

k_v :Raideur statique verticale.

k_h :Raideur statique horizontale

k_θ :Raideur statique balancement

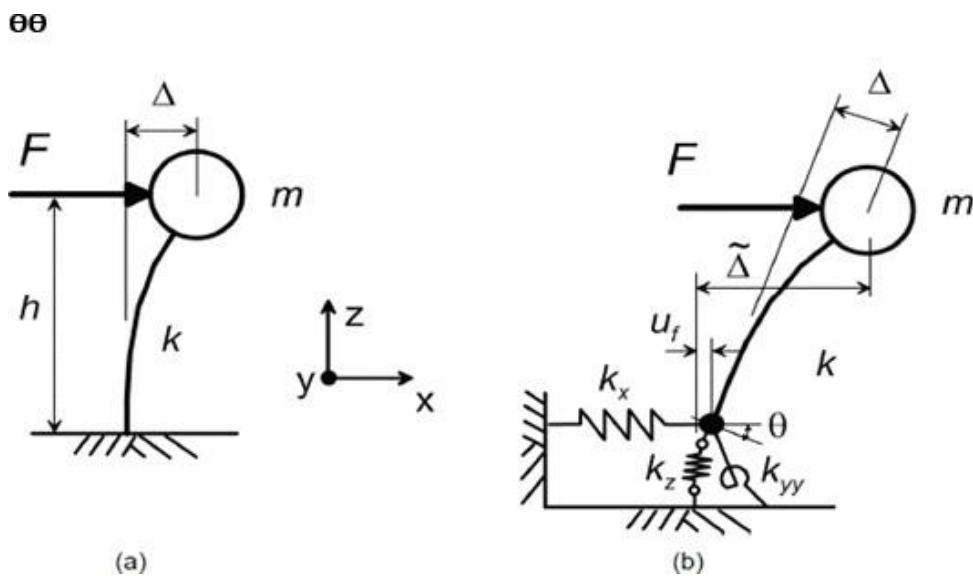


FIGURE 1.7 : Représentations schématique des déformations provoquées par la force appliquée sur : (a) structure à base fixe ; (b) structure avec flexibilité verticale, horizontale, et rotationnelle à sa base.

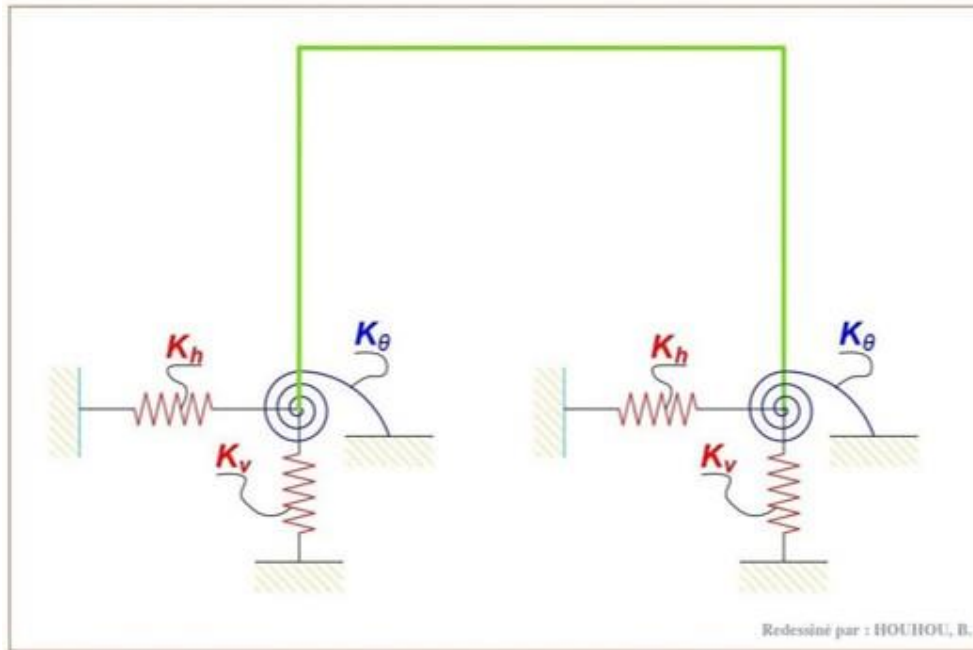


FIGURE 1.8 : modèle de modélisation du sol par élément ressort.

1.15 Formulation

1.15.1 Formules de Newmark - Rosenblueth

Les raideurs statiques d'une semelle isolée une base circulaire sur un sol homogène sont données par Newmark-Rosenblueth comme le suivant :

Mouvement	Hauteur du prisme de sol H	Amortissement relatif ou critique η	Raideurs K	
			Fondation circulaire	Fondation rectangulaire
Vertical	$0.27\sqrt{A}$	$2.71 \sqrt{\frac{\rho H^3}{M_b + M_s}}$	$K_v = \frac{4G \cdot r_0}{1 - \nu}$	$K_v = \frac{G}{1 - \nu} \beta_z \sqrt{A}$
Horizontal	$0.05\sqrt{A}$	$20.55 \sqrt{\frac{\rho H^3}{M_b + M_s}}$	$K_h = \frac{32(1 - \nu)G \cdot r_0}{7 - 8\nu}$	$K_h = 2(1 + \nu)G\beta_x \sqrt{A}$
Balancement	$0.35\sqrt{A}$	$0.485 \sqrt{\frac{\rho H^5}{I_b + I_s}}$	$K_\phi = \frac{8G \cdot r_0^3}{3(1 - \nu)}$	$K_\phi = \frac{G}{1 - \nu} \beta_\phi a^2 b$
Rotation autour de l'axe vertical	$0.25\sqrt{A}$	$1.88 \sqrt{\frac{\rho H^5}{J_b + J_s}}$	$K_\theta = \frac{16G \cdot r_0^3}{3}$	$K_\theta = \frac{1 + \nu}{4} G\beta_x (a^2 + b^2)\sqrt{A}$

TABLEAU 1.2 : Tableau des mouvements, hauteurs, amortissements et raideurs

- ▶ A : aire de la fondation
- ▶ a : dimension parallèle à la direction du séisme
- ▶ b : dimension perpendiculaire à la direction du séisme
- ▶ M_b : masse du bâtiment
- ▶ $M_s = AH\rho$: masse de sol additionnelle ayant même aire que la fondation du bâtiment
- ▶ H : hauteur du prisme de sol
- ▶ I_b, J_b : inerties massiques du bâtiment par rapport à la fondation
- ▶ I_s, J_s : inerties massiques de la masse additionnelle de sol par rapport à la fondation
- ▶ r_0 : rayon d'une fondation circulaire
- ▶ ν : coefficient de poisson
- ▶ $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$: module de cisaillement dynamique du sol

β_s, β_x et β_ϕ sont des paramètres dépendant du rapport a/b et ils sont donnés par l'abaque suivant :

- ▶ ...

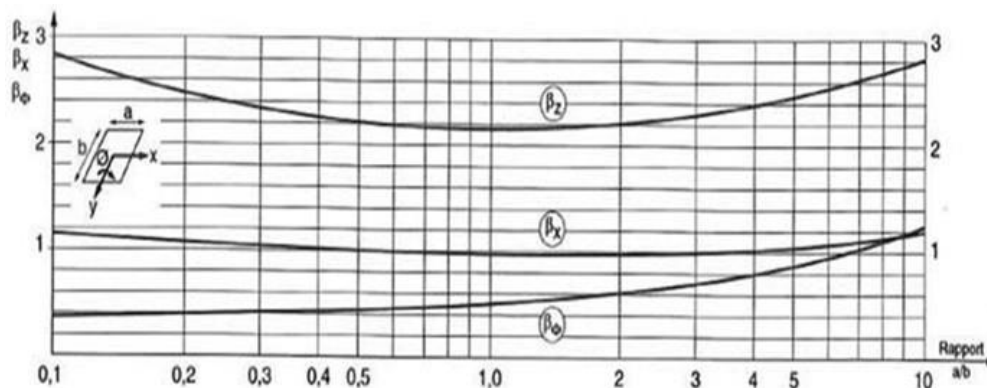


FIGURE 1.9 : Abaque donnant les coefficients de Newmark

1.15.2 Méthode simplifiée de Veletos

Degré de liberté	Raideur statique K
Translation verticale	$K_p = \frac{4GR}{1-\nu} \left(1 + \frac{2D}{5R} \right)$
Translation horizontale	$K_h = \frac{8GR}{2-\nu} \left(1 + \frac{2D}{3R} \right)$
Balancement	$K_o = \frac{8GR^3}{3(1-\nu)} \left(1 + \frac{2D}{R} \right)$

TABLEAU 1.3 : tableau de formule de Veletos

Avec :

G : le module de cisaillement

ν : le coefficient de Poisson

R : le rayon de la fondation circulaire ou le rayon équivalent

D : la profondeur d'encastrement de la fondation

1.16 Conclusion

La conclusion du projet sur l'effet de l'interaction sol-fondations sur la réponse dynamique des structures, particulièrement pour les semelles isolées, souligne l'importance cruciale de ces interactions dans la conception sismique des bâtiments. Les résultats montrent que la prise en compte précise des propriétés du sol et de la conception des fondations peut significativement améliorer la résistance et la sécurité des structures face aux séismes. Il est recommandé d'intégrer des analyses détaillées de l'interaction sol-fondations dans les processus de conception pour développer des structures plus résilientes. Le projet appelle à des recherches supplémentaires pour affiner les modèles utilisés et étendre les études à différents types de sols et de structures pour généraliser les résultats obtenus

Présentation de l'ouvrage et des réponses étudiées :

2.1 Introduction

Ce chapitre présente dans un premier lieu le bâtiment étudié : caractéristiques géométriques, fonctionnelles et structurelles, les règles de calcul et les logiciels adoptés, les valeurs et / ou les procédures de détermination des charges prises en compte, les valeurs des raideurs des sols des différents sites d'assise du bâtiment nécessaires la modélisation de l'interaction sol structures et enfin les réponses du bâtiment soumise l'étude.

2.2 Description du bâtiment étudié

2.2.1 Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques d'un bâtiment R+4 peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs tels que le design architectural, les contraintes du site et les réglementations locales. Cependant, voici quelques caractéristiques générales dans ce bâtiment :

2.2.1.1 Hauteur

Un bâtiment R+4 a une hauteur totale de cinq niveaux, comprenant le rez-de-chaussée et quatre étages supérieurs, La hauteur de chaque étage est 3.10 mètres alors hauteur totale du bâtiment est 15.5 mètres.

2.2.1.2 Forme en plan

La forme en plan d'un bâtiment R+4 peuvent varier en fonction du design architectural choisi. Certains bâtiments peuvent avoir une forme rectangulaire ou carrée, tandis que d'autres peuvent avoir des formes plus complexes avec des décrochements ou des courbes,

le bâtiment étudié est de forme rectangulaire de longueur 23.20 mètres de le sens X et de largeur 12.08 mètres de le sens Y

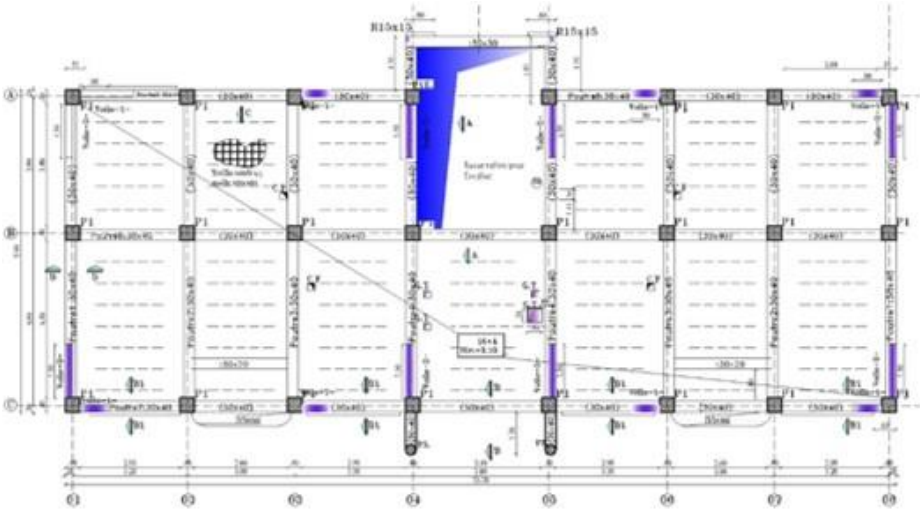


FIGURE 2.1 : Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie

2.2.1.3 Façade

La façade d’un bâtiment R+4 peut être conçue avec différents matériaux tels que le béton, la brique, le verre ou des panneaux préfabriqués. Les fenêtres et les balcons peuvent être intégrés dans la façade pour offrir des vues et des espaces extérieurs aux occupants, ce bâtiment est conçue en béton armé.



FIGURE 2.2 : façade principal

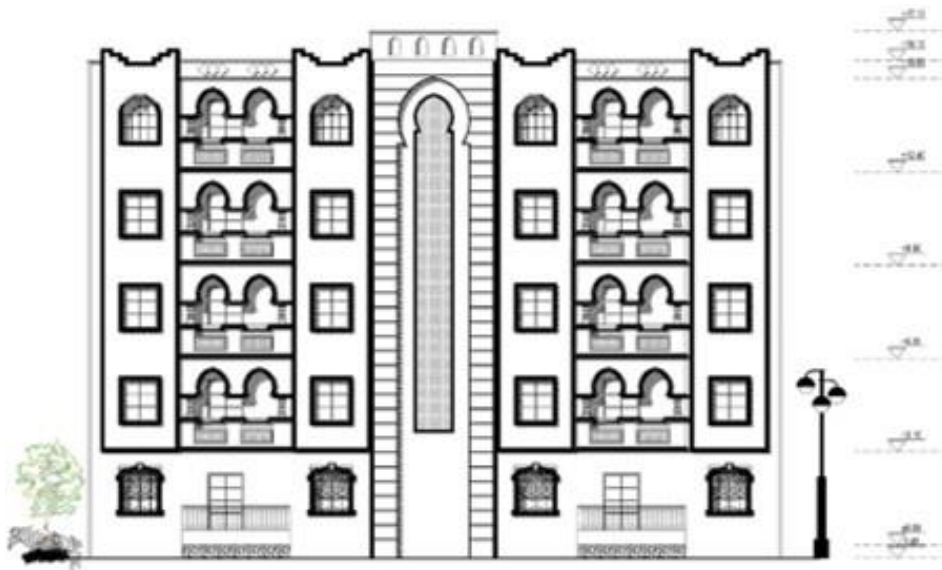


FIGURE 2.3 : façade postérieure

2.2.1.4 Toiture

La toiture d'un bâtiment R+4 peut être plate, en pente ou avoir d'autres formes architecturales spécifiques, La toiture peut être utilisée pour des installations techniques, des espaces verts ou des terrasses accessibles aux résidents, La toiture d'un bâtiment et plate.

2.2.1.5 Murs(voile)

Les murs porteurs sont des éléments verticaux qui supportent les charges verticales et latérales du bâtiment, Nous avons voile de longueur 1.5 mètres et hauteur 3.10 mètres et épaisseur 20 cm dans deux directions X et Y.

2.2.1.6 Poutres

Les poutres sont des éléments horizontaux ou inclinés qui supportent les charges et les transmettent aux murs ou aux colonnes, poutres principales et secondaires le même section (30x40)

2.2.1.7 Poteau

Les poteaux sont des éléments verticaux qui supportent les charges verticales et les transmettent aux fondations, on a 2 types de poteau dans bâtiment de section (40x40) et poteaucirculaire (d=40)

2.2.1.8 Fondations

Les semelles sont les éléments situés en dessous du niveau du sol qui supportent le poids du bâtiment et le transmettent au sol. Semelle isolée : $A = 2,00$ (m), $B = 2,00$ (m), $a = 0,40$ (m), $b = 0,40$ (m), $h_1 = 0,45$ (m), $h_2 = 0,25$ (m), $h_3 = 0,05$ (m). Semelle Filante 1 : Epaisseur de la semelle = 0.4 m Hauteur de la poutre de rigidité = 0.80 m Largeur de la semelle = 1.9 m Longueur de la semelle = 5,1 m

2.2.1.9 Escaliers

Les escaliers et les rampes sont des éléments de circulation verticale qui permettent aux occupants d'accéder aux différents niveaux du bâtiment en toute sécurité. Ils sont généralement construits en béton ou en acier et doivent respecter les normes de sécurité en vigueur.

2.2.1.10 Dalle pleine

La dalle pleine est une plaque porteuse en béton armé coulée sur place, d'une épaisseur de 10 à 20 cm ou plus, reposant sur des appuis tels que des murs ou des poutres. Elle est souvent utilisée comme base solide pour la construction de structures telles que des planchers, des balcons ou des terrasses, cette dalle pleine est en béton 25 et a une épaisseur de 15cm.

2.2.2 Caractéristiques fonctionnelles

2.2.2.1 Rez-de-chaussée

Le rez-de-chaussée est généralement utilisé pour les espaces communs tels que l'entrée principale, le hall d'accueil, les locaux techniques et éventuellement des commerces ou des bureaux. Il peut également comporter des espaces de stationnement pour les véhicules. Rez-de-chaussée de ce bâtiment est utilisé pour stationnement pour les véhicules.

2.2.2.2 Étages supérieurs

Les étages supérieurs sont destinés aux logements résidentiels, Chaque étage comporter plusieurs appartements, avec différentes configurations et tailles, Les appartements peuvent être disposés en rangées le long des couloirs ou en plan ouvert avec des espaces de vie connectés.

2.2.2.3 Terrasse

Cette terrasse est inaccessible

2.2.3 Caractéristiques structurelles

2.2.3.1 Systèmes de contreventement

Le système de contreventement est un système mixte en portiques voiles en béton armé.

2.2.3.2 Planchers

Les planchers sont des éléments horizontaux qui séparent les différents niveaux d'une construction. Ils supportent leur propre poids ainsi que les charges d'exploitation, les planchers du bâtiment étudié sont conçus en corps creux type (16+4) dans tous les niveaux.

2.3 Règles de calcul et logicielles adoptés

2.3.1 Règles de calcul

L'étude est faite selon les règles en vigueur :

- RPA99(version 2003)
- DTR-BC 2.41 Règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A 93. Et son homologue français BAEL91(mod99) et européen EC2
- DTR-BE 2.1 Règles d'exécution des travaux de construction d'ouvrages en béton armé.
- DTR BC 2.2 Charges Permanentes Et Charges D'exploitation.

2.3.2 Logicieles adoptés :

Le logiciel utilisé pour l'analyse de la structure du bâtiment étudié est le ROBOT Structural Analysis

2.3.2.1 Description du logiciel Robot Structural Analysis

Robot Structural Analysis est un logiciel de conception et d'analyse de structures développé par Autodesk. Il est largement utilisé dans le domaine du génie civil et de la construction pour analyser le comportement des structures et vérifier leur résistance et leur stabilité. Voici un résumé des principales caractéristiques et fonctionnalités de Robot Structural Analysis :

1. Modélisation des structures : Le logiciel permet de créer des modèles 3D complets des structures, y compris des poutres, des colonnes, des dalles, des murs, des treillis et d'autres éléments structurels. Il offre une interface conviviale pour définir la géométrie, les matériaux et les conditions aux limites de la structure.
2. Analyse statique et dynamique : Robot Structural Analysis prend en charge l'analyse statique linéaire et non linéaire, ainsi que l'analyse dynamique pour évaluer le comportement des structures sous diverses charges, y compris les charges permanentes, les charges

de vent, les charges sismiques et les charges de construction

3. Calcul des charges : Le logiciel propose des outils pour calculer automatiquement les charges sur la structure en fonction des normes et des codes de construction applicables. Il permet également d'appliquer des charges personnalisées et de visualiser les résultats des calculs de charge.

4. Calcul des déformations et des contraintes : Robot Structural Analysis effectue des calculs précis des déformations, des contraintes et des réactions dans la structure. Il fournit des diagrammes de contrainte et de déformation pour chaque élément structurel, permettant ainsi d'évaluer la performance et la sécurité de la structure.

5. Vérification de la résistance et de la stabilité : Le logiciel effectue des vérifications complètes de la résistance des éléments structurels, notamment la résistance à la flexion, à la compression, à la torsion et au flambement. Il détecte les zones critiques présentant des défaillances potentielles et fournit des rapports détaillés sur la capacité de la structure à résister aux charges appliquées.

6. Analyse des fondations : Robot Structural Analysis permet également d'analyser les fondations, y compris les semelles, les pieux et les puits de fondation. Il prend en compte les interactions sol-structure et fournit des résultats sur les contraintes, les tassements et la stabilité des fondations.

2.4 Evaluation des charges et surcharges

2.4.1 Charges permanentes et surcharges d'exploitation

Selon DTR BC 2.2 L'évaluation des charges permanentes et des surcharges d'exploitation pour notre bâtiment donne :

Étage	Charge permanente	Surcharge exploitation
Terrasse inaccessible	G= 0.62 ton	Q=0.10 ton
Étage courant	G= 0.54 ton	Q=0.15 ton
Dalle pleine	G= 0.32 ton	Q=0.15 ton
Acrotère	G= 0.17 ton	Q=0.00 ton

TABLEAU 2.1 : Table de charge et surcharges

2.4.2 Charges sismiques

L'étude sismique est faite par la Méthode dynamique selon (RPA99version2003) :

2.4.2.1 Spectre de réponse

A chaque catégorie de site est associé un spectre de réponse en accélération, en considérant les périodes caractéristiques T_1 et T_2 de chaque catégorie de site données la forme du spectre élastique normalisé en accélération en fonction de la période T se calcule à l'aide des relations suivantes :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right] \rightarrow 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \rightarrow T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \rightarrow T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) \rightarrow T > 3.0s \end{cases}$$

La modification de l'action sismique est prise en compte la forme du spectre de réponse. Il est indispensable alors, de connaître la nature du sol de fondation avant de choisir le spectre de réponse à utiliser dans les calculs.

2.4.2.2 Classification de site

Le sol S2 (site ferme) : rocher ou autre formation géologique comportant une couche superficielle de 5m au maximum, de matériau moins résistant ou d'argile sur consolidée, et/ou encore des dépôts de sables et des graviers très denses de 10 à 20 mètres d'épaisseur, où les propriétés mécaniques augmentent progressivement avec la profondeur (la vitesse des ondes de cisaillement VS atteint au moins 400m/s à partir de 10m de profondeur par rapport au sol. De l'examen des résultats des essais de sol effectués sur terrain, il ressorte que :

- Le sol de fondation de l'ouvrage est composé d'une formation géologique appartenant au terrain sédimentaire composé essentiellement de limons sableux, ce type de sol possède une capacité portante moyenne.
- La région de m'sila est classée zone IIa de faible sismicité pour le calcul dynamique de l'ouvrage (d'après le règlement parasismique Algérien en vigueur «RPA99 version2003 »). Par ailleurs et toujours selon la classification du RPA et en se basant sur les résultats des essais de la pénétration au carottier (SPT), le terrain étudié est classé comme étant un sol ferme de catégorie S2. Les résultats de l'analyse chimique révèlent une agressivité modérée vis-à-vis du béton de l'infrastructure selon la norme NA16002, A cet effet l'utilisation d'un ciment résistant aux sulfates (C.R.S) pour le béton de l'infrastructure est nécessaire
- En vue des résultats obtenus des essais au pénétromètre dynamique et les essais en laboratoire nous suggérons le type de fondation suivant : semelles isolées avec un taux de travail admissible de 1.50 bars

- L'ancrage des semelles est à 1.70m de profondeur à partir du niveau du terrain naturel
- Les essais mécaniques montrent que le sol de fondation possède des caractéristiques géotechniques moyennes il s'agit d'un sol sur consolidé moyennement compressible et non gonflant.
- Le tassement calculé est de l'ordre de 3.10 cm est inférieur au tassement admissible qui est fixé par le règlement à 5cm pour les bâtiments à ossatures

2.4.2.3 Coefficient de comportement R

Le système de contreventement est mixte portiques/voiles avec interaction, selon (RPA99version 2003) la valeur de R=5.

2.4.2.4 Coefficient d'accélération de zone A

La valeur de A correspondant au groupe d'usage du bâtiment et de la zone IIa est 0.20.

2.4.2.5 Facteur de correction d'amortissement n

ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. Quant $\xi = 7\%$, on a $\eta = 0.88$.

2.4.2.6 Facteur de qualité Q

Le facteur de qualité de la structure est fonction de la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent, la régularité en plan et en élévation, la qualité du contrôle de la construction, La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum_{i=1}^6 P_q$ où P_q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non". Sa valeur est donnée au tableau

Critère q	P_q	
	Observé	N/observé
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0,05
2. Redondance en plan	0	0,05
3. Régularité en plan	0	0,05
4. Régularité en élévation	0	0,05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10

TABLEAU 2.2 : tableau de pénalité

Toutes les conditions sont vérifiées sauf la condition 5 et 6 alors la valeur de $Q=1.15$

2.4.2.7 Facteur d'amplification dynamique moyen D

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

2.4.2.8 Poids total de la structure W

W est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau (i)

$$W = \sum_i W_i$$

$$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

Où :

W_{Gi} est le poids des charges permanentes au niveau i

W_{Qi} est le poids des surcharges d'exploitation au niveau i

- ▶ W_{Qi} est un coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge

Pour les bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés $\beta = 0.2$ (le cas de notre bâtiment) et selon l'évaluation des charges et surcharges la valeur de $W= 1190,03$ Ton

2.5 Raideurs des sols

2.5.1 Evaluation des actions et des raideurs du sol

L'évaluation des actions et des raideurs de l'interaction sol-structure est une étape essentielle dans la conception des fondations et des structures. Elle consiste à analyser les effets de l'interaction entre le sol et la structure afin de déterminer les charges appliquées sur le sol et d'estimer la réponse de la structure à ces charges. Voici quelques éléments clés à prendre en compte lors de l'évaluation des actions et des raideurs de l'interaction sol-structure :

1. Il est important de caractériser le sol en termes de ses propriétés géotechniques telles que la composition, la densité, la cohésion, l'angle de frottement interne, la perméabilité, etc. Ces propriétés influencent la réponse du sol aux charges appliquées par la structure
2. La structure doit être modélisée de manière précise en prenant en compte sa géométrie, ses matériaux constitutifs, sa rigidité, etc. La modélisation de la structure permet d'estimer les charges transmises au sol et d'évaluer l'interaction entre la structure et le sol
3. Les charges appliquées sur le sol comprennent les charges permanentes (poids propre de la structure, charges permanentes des équipements, etc.) et les charges variables (charges d'exploitation, charges de neige, charges de vent, etc.). Il est essentiel d'évaluer ces charges pour déterminer leur impact sur le sol
4. L'analyse de l'interaction sol-structure permet de déterminer les déformations et les contraintes induites dans le sol par la structure. Elle peut être réalisée à l'aide de méthodes analytiques, semi-empiriques ou numériques. Cette analyse permet d'estimer les raideurs du sol et de prédire la réponse de la structure
5. Une fois les charges et les raideurs du sol estimées, il est important de vérifier si la structure et les fondations respectent les critères de conception en termes de stabilité, de déformabilité, de résistance, etc. Cela garantit la sécurité et la durabilité de la structure
6. L'interaction sol-structure (I.S.S). Le sol est supposé homogène avec un comportement élastique linéaire. Le modèle ressorts de sol définit la réaction élastique de sol à l'égard des composantes de déplacement et de rotation de la fondation. Plusieurs formulations de calcul des raideurs du ressort de sol sont proposées. Parmi celle-ci les formules de NEWMARK-RESENBLUETH [27], les formules de Deleuze et la méthode simplifiée de VELETOS (Davidovici, 99) [10] ; (Zacek, 96) [22]. Les valeurs des raideurs des ressorts de sol sont calculées à l'aide de relations en considérant les caractéristiques des sites. Les valeurs des coefficients sans dimension B_X ; B_Z ; B du tableau 1.2 sont données par les abaques spécifiques en fonction du rapport des dimensions de la fondation (b/a) et la direction de l'action sismique considérée (Newmark-Resenblueth

1971).

Mouvement	Semelle rigide rectangulaire
Vertical	$K_v = \frac{G}{1-\nu} \cdot B_z \cdot \sqrt{A}$
Horizontal	$K_h = 2(1+\nu) \cdot G \cdot B_x \cdot \sqrt{A}$
Balancement	$K_\phi = \frac{G}{1-\nu} \cdot B_\theta \cdot a^2 b$

7.

TABLEAU 2.3 : tableau des valeurs des raideurs du sol Formules de Newmark-Rosenblueth

2.5.2 Calcul et des raideurs du sol

le calcul faite selon le tableau(2.4) :

Sites	Description	Vitesse Vs (m/s)	Es (MPa)	ν	Gs (MPa)
S1	Rocheux	≥ 800	100-250	0.4	35-90
S2	ferme	≥ 400	20-80	0.4	7-29
S3	meuble	≥ 200	5-20	0.4	1-7
S4	Très meuble	≥ 100	1-4	0.4	0.3-1.5

TABLEAU 2.4 : tableau des caractéristiques géotechniques des sites

- Le calcul concerne des semelles isolées rectangulaire de dimension A=2m et B=2 m
- La valeur de Bz, Bx, et Bθ selon la Abaque(Figure 1.9)

sites	Raideurs vertical (KN/m)	Raideurs horizontal (KN/m)	Raideur balancement (KN/m)
S1	651000	540000	576000
S2	209766.666	162400	185600
S3	50633.333	39200	44800
S4	10850	8400	9600

TABLEAU 2.5 : tableau des valeurs des raideurs de chaque site

2.6 Les réponses étudiées

Les réponses de la structure soumises à l'étude sont :

- Les périodes propres.
- Les déplacements inter étages et le déplacement absolu.
- Le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement.
- Les efforts dans quelques éléments structuraux.

Modélisation est calcul numérique

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, et pour le bâtiment considéré encastré sans tenir compte de l'interaction sol structure et les cas où on tient compte de cet effet pour différents types de sites S1, S2, S3 et S4, on va décrire la modélisation du cas et présenter les résultats concernant les paramètres étudiés : les périodes propres ; les déplacements inter étages et totaux, les forces sismiques V_x et V_y et les efforts dans quelques éléments.

3.2 Etude du bâtiment avec structure encastrée

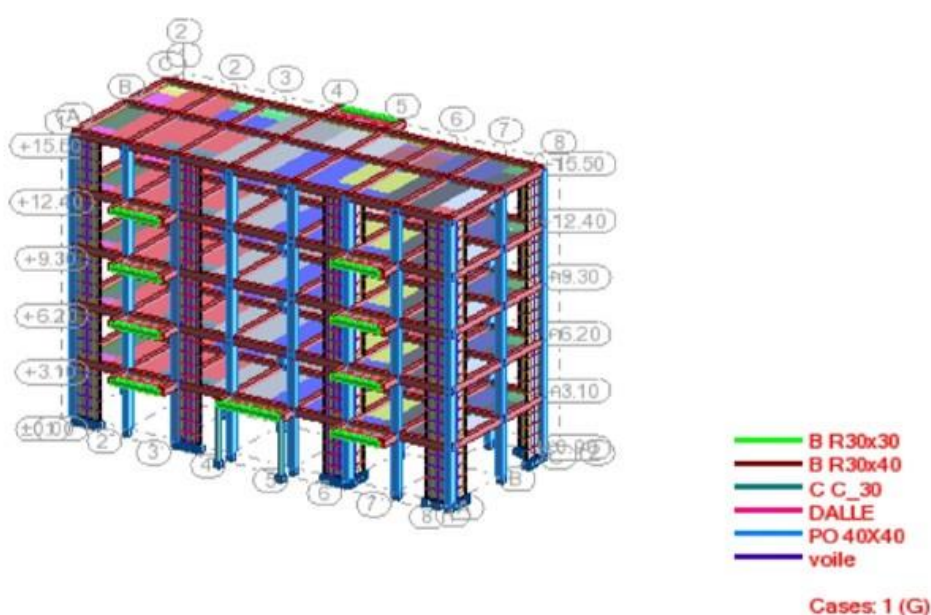


FIGURE 3.1 : bâtiment R+4 en cas encastrement

3.2.1 Les périodes propres T

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]
3/1	2.34	0.43
3/2	2.75	0.36
3/3	3.01	0.33
3/4	3.98	0.25
3/5	4.49	0.22
3/6	5.45	0.18
3/7	6.12	0.16
3/8	7.12	0.14
3/9	7.15	0.14
3/10	8.04	0.12

TABLEAU 3.1 : tableau des périodes

3.2.1.1 vérification de la période fondamentale

$$T_{dynamique} (s) = 0,430 s$$

$$T_1 = 0,39s$$

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{D}$$

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

$$T_x = 0,29s$$

$$T_y = 0.40s$$

$$T_{dynamique} \leq 1.30 T_{statique} = 0.50s$$

3.2.2 La force sismique

L'effort dynamique a la base suivant le sens X-X : $E_x(t) = 137.21\text{Ton}$

L'effort dynamique a la base suivant le sens Y-Y : $E_y(t) = 126.97\text{Ton}$

L'effort statique a la base suivant le sens X-X : $V_x(t) = 120.43\text{Ton}$

L'effort statique a la base suivant le sens Y-Y : $V_y(t) = 120.43\text{Ton}$

La condition $V_{dynamique} \geq 80\% V_{statique}$ est vérifiée.

3.2.3 Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement

Niveau	$F_k(Ton)$	$h_k(m)$	$F_k * h_k$	$W_k(Ton)$	$b_i(m)$	$W_k * b_i$
RDC	7.65	3.1	23.715	239.38	11.368	2721.272
1	18.17	6.2	112.654	233.4	11.368	2653.29
2	27.98	9.3	260.214	233.4	11.368	2653.29
3	36.05	12.4	447.02	233.4	11.368	2653.29
4	47.36	15.5	734.08	250.45	11.368	2847.116

TABLEAU 3.2 : tableau de renversement sens x-x

$$F_r = \frac{\sum w_i b_i}{\sum F_k h_k} = 8.574$$

Niveau	$F_k(Ton)$	$h_k(m)$	$F_k * h_k$	$W_k(Ton)$	$b_i(m)$	$W_k * b_i$
RDC	6.53	3.1	20.243	239.38	4.255	1018.561
1	15.99	6.2	99.138	233.4	4.255	993.117
2	26.51	9.3	246.543	233.4	4.255	993.117
3	33.49	12.4	415.276	233.4	4.255	993.117
4	44.45	15.5	688.975	250.45	4.255	1065.664

TABLEAU 3.3 : tableau de renversement sens y-y

$$F_r = \frac{\sum w_i b_i}{\sum F_k h_k} = 3.44$$

3.2.4 Déplacement inter étages dus aux forces sismiques :

$$= \frac{P_k \Delta_k}{\sum V_k h_k} \leq 0.1$$

Niveau	$P_k(\text{ton})$	$\delta_k(\text{cm})$	$V_k(\text{Ton})$	$h_k(\text{m})$	ϑ_k
RDC	1150.03	0.1	137.21	3.1	0.0027978
1	950.65	0.3	129.56	3.1	0.0071008
2	717.25	0.5	111.39	3.1	0.0103856
3	483.85	0.7	83.41	3.1	0.0130987
4	250.45	0.9	47.36	3.1	0.0153529

TABLEAU 3.4 : tableau des déplacements sens x-x

Niveau	$P_k(\text{ton})$	$\delta_k(\text{cm})$	$V_k(\text{Ton})$	$h_k(\text{m})$	ϑ_k
RDC	1150.03	0.2	126.97	3.1	0.0060468
1	950.65	0.4	120.44	3.1	0.0101847
2	717.25	0.7	104.45	3.1	0.0155506
3	483.85	0.9	77.94	3.1	0.0180232
4	250.45	1.1	44.45	3.1	0.0199931

TABLEAU 3.5 : tableau de déplacements sens y-y

ETAGE	Sens x.x	Sens y.y
RDC	0.5	1
1	1.5	2
2	2.5	3.5
3	3.5	4.5
4	4.5	5.5

TABLEAU 3.6 : déplacements absolus

3.2.5 Efforts dans de quelques éléments :

3.2.5.1 Poutre (30x40)

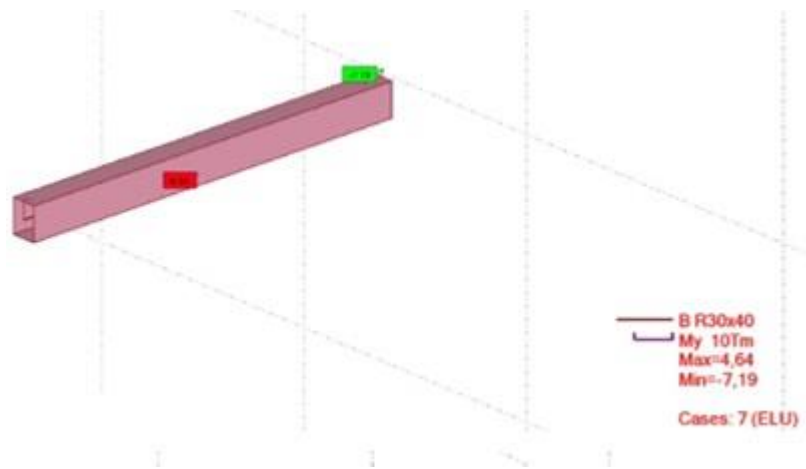


FIGURE 3.2 : Effort dans la poutre MY sous ELU

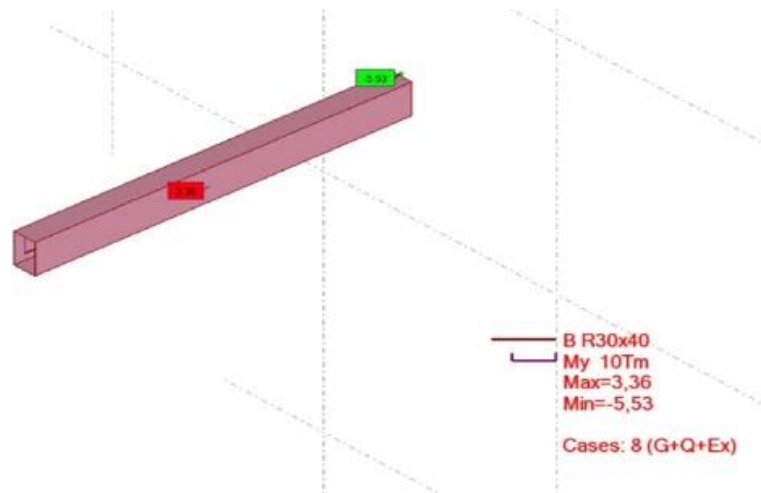


FIGURE 3.3 : Effort dans la poutre MY sous (G+Q+EX)

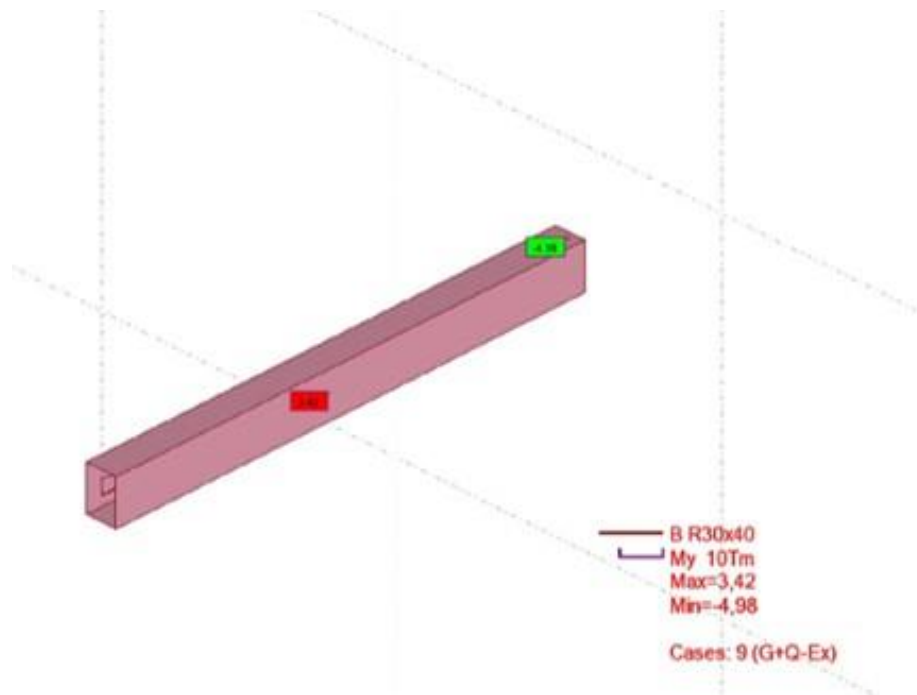


Figure 3.4 : Effort dans la poutre MY sous (G+Q-EX)

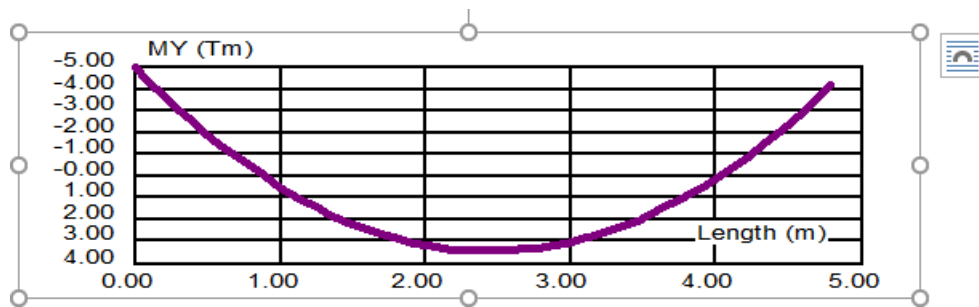


FIGURE 3.5 : diagramme de MY

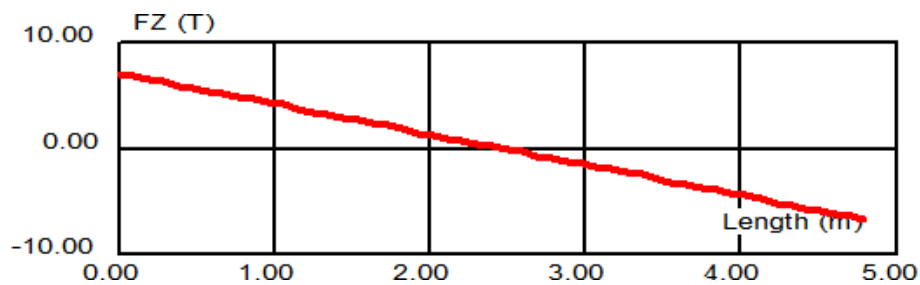


FIGURE 3.6 : diagramme de FZ

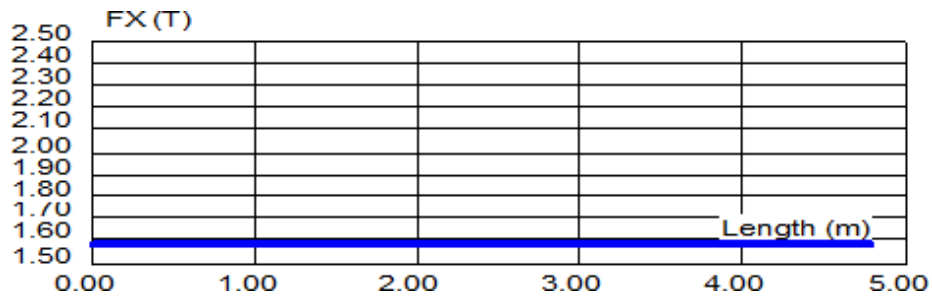


FIGURE 3.7 : diagramme de FX

Barre/Noeud/ Cas	FX (T)	FZ (T)	MY (Tm)	Nom du cas
838/770/7 (C)/	2.75	9.63	-7.23	G+Q+Ex
838/769/7 (C)/	2.75	-9.13	-6.02	G+Q+Ex
838/769/16 (C) (CCQC)/	2.32	-6.57	-4.60	G+Q+Ev
838/770/16 (C) (CCQC)/	2.32	7.14	-5.57	G+Q+Ev
838/768/8 (C) (CCQC)/	2.27	-6.58	-4.57	0.8G+Ex
838/770/8 (C) (CCQC)/	2.27	7.13	-5.52	0.8G+Ex
838/770/18 (C) (CCQC)/	2.19	7.93	-7.24	G+Q+Ex
838/769/18 (C) (CCQC)/	2.19	-5.78	-6.70	G+Q+Ex
838/769/10 (C) (CCQC)/	2.16	-5.93	-6.31	0.8G+Ey
838/770/10 (C) (CCQC)/	2.16	7.78	-6.92	0.8G+Ey
838/770/6 (C)/	2.00	7.04	-5.29	0.8G+y
838/769/6 (C)/	2.00	-6.67	-4.39	0.8G+y
838/769/20 (C)/	1.88	-6.33	-4.15	G+Q-Ex
838/770/20 (C)/	1.88	6.70	-5.04	G+Q-Ex
838/769/11 (C) (CCQC)/	1.84	-7.41	-2.47	0.8G+Ex
838/770/11 (C) (CCQC)/	1.84	6.30	-3.66	0.8G+Ex

TTABLEAU 3.7 : tableau des efforts dans la poutre

3.2.5.2 Poteau (40x40)

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	MY [Tm]	Nom du cas
13/25/16 (C) (CGC)	58.78	-3.08	G+Q+1.2Ex
13/26/16 (C) (CGC)	57.54	-1.63	G+Q+1.2Ex
13/25/18 (C) (CGC)	46.03	-0.41	G+Q+1.2Ev
13/26/18 (C) (CGC)	44.78	0.29	G+Q+1.2Ev
13/25/12 (C) (CGC)	40.28	-2.06	0.8G+Ex
13/26/12 (C) (CGC)	39.29	-1.07	0.8G+Ex
13/25/19 (C) (CGC)	34.14	-0.14	G+Q+1.2Ey
13/26/19 (C) (CGC)	32.90	0.81	G+Q+1.2Ey
13/25/14 (C) (CGC)	31.78	-0.28	0.8G+Ey
13/26/14 (C) (CGC)	30.78	0.20	0.8G+Ey
13/25/15 (C) (CGC)	23.85	-0.10	0.8G-Ey
13/26/15 (C) (CGC)	22.86	0.55	0.8G-Ey
13/25/17 (C) (CGC)	21.38	2.52	G+Q-1.2Ex
13/26/17 (C) (CGC)	20.14	2.73	G+Q-1.2Ex
13/25/13 (C) (CGC)	15.34	1.68	0.8G-Ex
13/26/13 (C) (CGC)	14.35	1.83	0.8G-Ex

TABLEAU 3.8 : tableau des efforts poteau encastrement

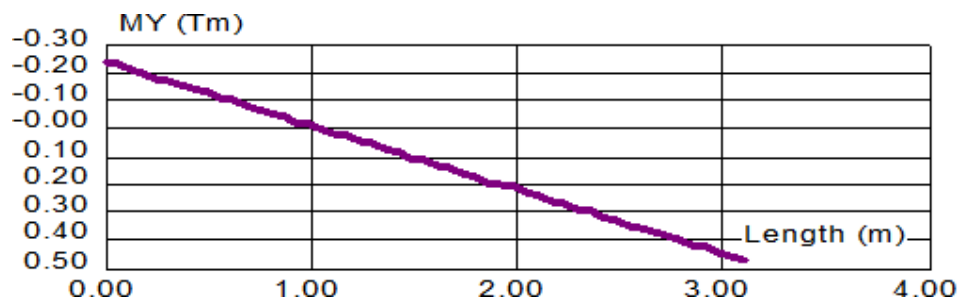


FIGURE 3.8 : Diagramme de My poteau

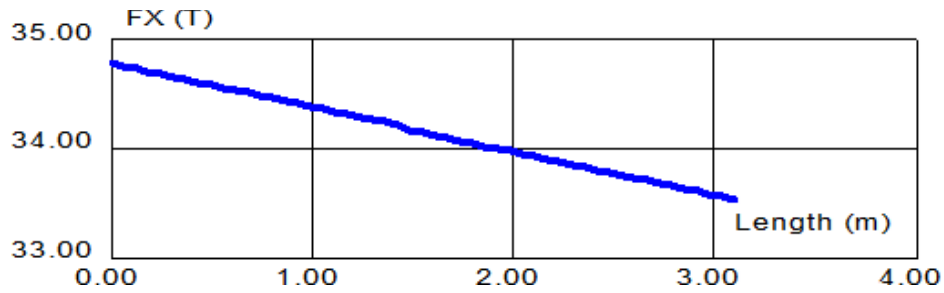


FIGURE 3.9 : Diagramme de FX poteau

3.2.5.3 Voile (épaisseur=20cm)

Barre/Noeud/Cas	MXX (Tm/m)	MYY (Tm/m)	NXX (T/m)	NY Y (T/m)	tXX (T/m ²)	tYY (T/m ²)
476/14/10 (C) (CGC)	0.35	0.72	16.29	86.44	3.89	14.58
476/120/10 (C) (CGC)	0.30	0.72	14.73	76.82	3.44	12.63
476/109/10 (C) (CGC)	0.29	0.71	11.47	74.49	2.68	9.76
476/14/14 (C) (CGC)	0.25	0.71	11.30	65.02	2.63	9.74
476/120/14 (C) (CGC)	0.25	0.71	11.07	60.48	2.36	9.66
476/121/10 (C) (CGC)	0.25	0.68	9.57	59.53	2.29	8.32
476/109/14 (C) (CGC)	0.23	0.62	8.86	58.13	2.03	6.66
476/110/10 (C) (CGC)	0.23	0.61	8.52	52.88	1.92	6.43
476/121/14 (C) (CGC)	0.23	0.60	8.34	50.12	1.81	4.92
476/110/14 (C) (CGC)	0.21	0.60	6.98	49.84	1.79	4.48
476/119/10 (C) (CGC)	0.21	0.60	6.95	49.50	1.74	4.36
476/125/10 (C) (CGC)	0.20	0.57	6.93	49.36	1.71	4.26
476/111/10 (C) (CGC)	0.19	0.55	6.60	45.53	1.63	4.21
476/122/10 (C) (CGC)	0.19	0.55	6.31	44.28	1.60	4.13
476/13/10 (C) (CGC)	0.19	0.54	6.02	42.10	1.57	3.94
476/106/10 (C) (CGC)	0.18	0.54	5.80	38.95	1.46	3.65

TABLEAU 3.9 : tableau des efforts voile encastrement

3.3 Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S1

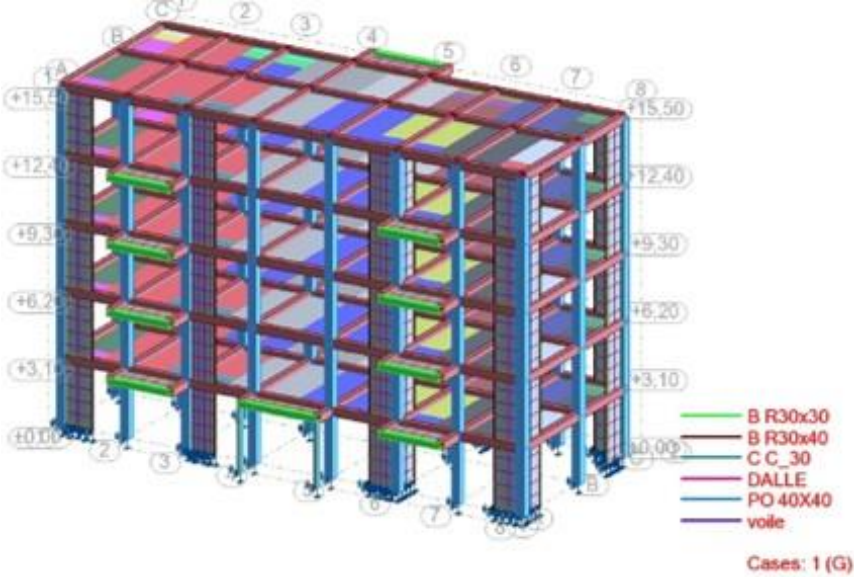


FIGURE 3.10 : modélisation du bâtiment par la méthode des ressorts cas du site (S1)

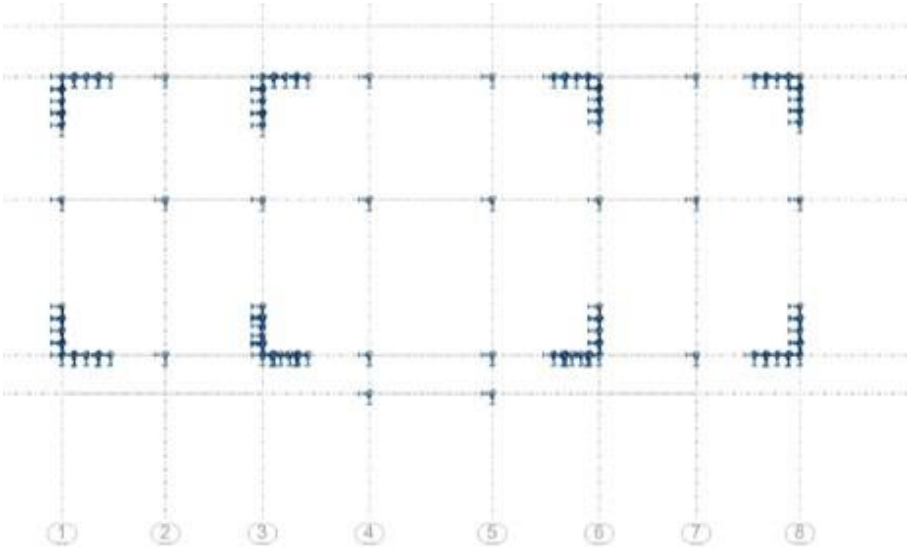


FIGURE3.11 : vue en plan au niveau du sol

3.3.1 Périodes propres T

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]
3/1	2.07	0.48
3/2	2.41	0.42
3/3	2.64	0.38
3/4	3.75	0.27
3/5	4.09	0.24
3/6	5.22	0.19
3/7	5.98	0.17
3/8	7.12	0.14
3/9	7.15	0.14
3/10	8.04	0.12

TABLEAU 3.10 : tableau des périodes

3.3.2 La Force sismique

L'effort dynamique à la base suivant le sens X-X : $E_x(t) = 101.56$ Ton

L'effort dynamique à la base suivant le sens Y-Y : $E_y(t) = 85.21$ Ton

L'effort Statique a la base suivant le sens X-X : $V_x(t) = 120.43$ Ton

l'effort Statique a la base suivant le sens Y-Y : $V_y(t) = 120.43$ Ton

3.3.3 Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement :

Niveau	F (Ton)	h (m)	F*h	W (Ton)	b (m)	W*b
RDC	9.22	3.1	28.582	239.38	11.368	2721.271
1	14.13	6.2	87.606	233.4	11.368	2653.291
2	19.71	9.3	183.303	233.4	11.368	2653.291
3	23.04	12.4	285.696	233.4	11.368	2653.291
4	35.46	15.5	549.63	250.45	11.368	2847.115

TABLEAU3.11 : tableau de renversement sens x-x

$$F_r = 11.921$$

Niveau	F (Ton)	h (m)	F*h	W (Ton)	b (m)	W*b
RDC	7.18	3.1	22.258	239.38	4.255	1018.561
1	11.54	6.2	71.548	233.4	4.255	993.117
2	17.39	9.3	161.727	233.4	4.255	993.117
3	20.85	12.4	258.54	233.4	4.255	993.117
4	28.25	15.5	437.875	250.45	4.255	1065.664

TABLEAU 3.12 : tableau de renversement sens y-y)

$$F_r = 5.319$$

3.3.4 déplacements inter étages dus aux forces sismiques

Niveau	P (Ton)	$\delta(cm)$	V(Ton)	h (m)	ϑ
RDC	1190.03	0.1	101.56	3.1	0.003779
1	950.65	0.3	92.34	3.1	0.009963
2	717.25	0.4	78.21	3.1	0.011833
3	483.85	0.5	58.5	3.1	0.011334
4	250.45	0.6	35.46	3.1	0.013167

TABLEAU 3.13 : tableau des déplacements sens x-x

Niveau	P (Ton)	A (cm)	V(Ton)	h (m)	ϑ
RDC	1190.03	0.1	85.21	3.1	0.004505
1	950.65	0.3	78.03	3.1	0.01179
2	717.25	0.5	66.49	3.1	0.017398
3	483.85	0.7	49.1	3.1	0.022251
4	250.45	0.9	28.25	3.1	0.025738

TABLEAU 3.14 : tableau des déplacements sens y-y

ETAGE	Sense x.x	Sense y.y
RDC	0.5	0.5
1	1.5	1.5
2	2	2.5
3	2.5	3.5
4	3	4.5

TABLEAU 3.15 : tableau des déplacements absolus

3.3.5 Efforts dans de quelques éléments

3.3.5.1 Poutre (30x40) :

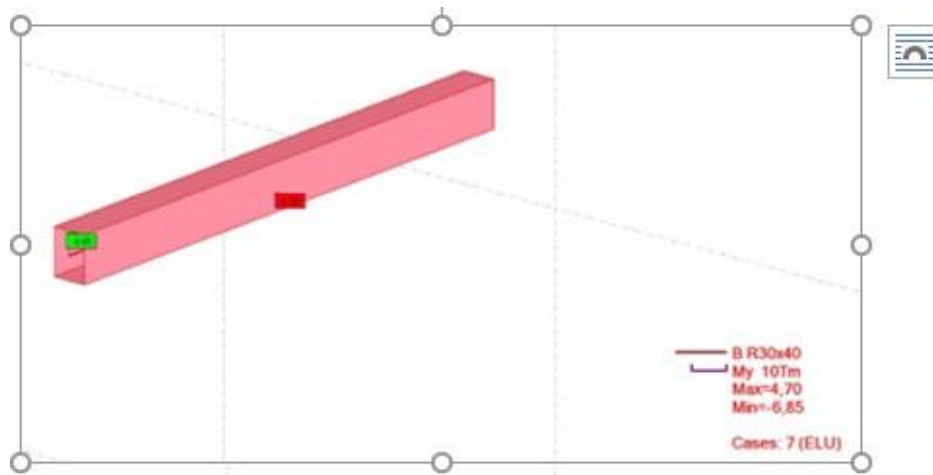


Figure3.12 : Effort dans la poutre MY sous ELU)

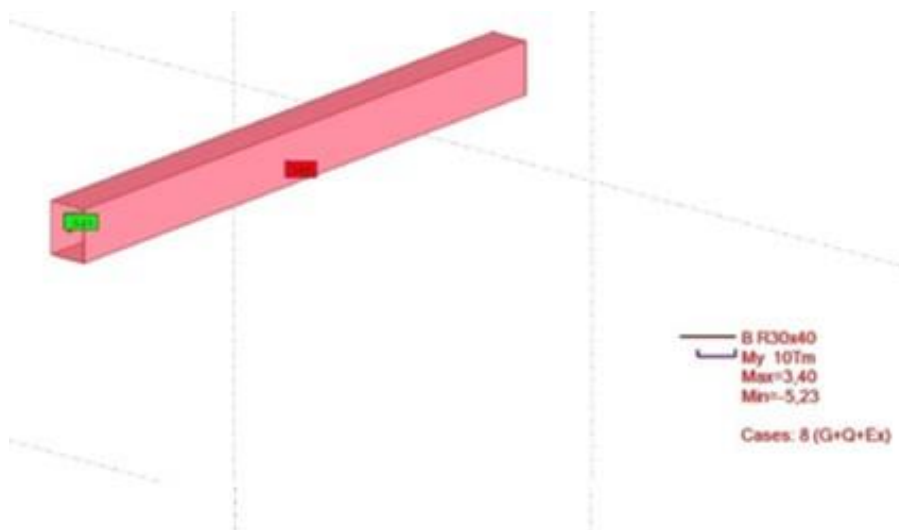


FIGURE3.13 : Effort dans la poutre MY sous (G+Q+E)

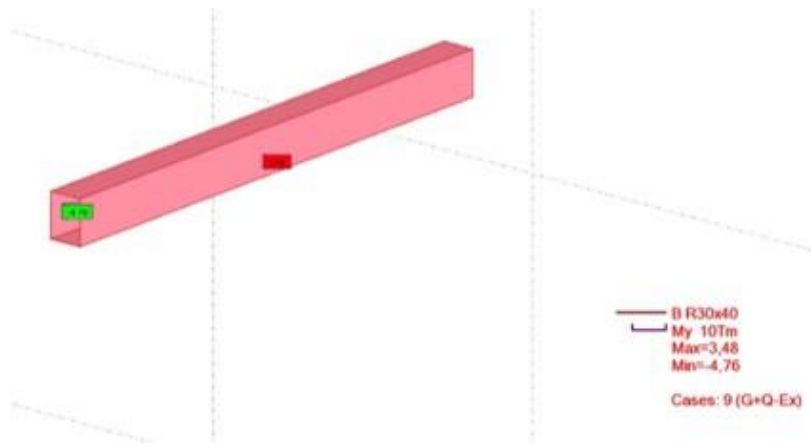


Figure 3.14 : effort MY ,G+Q-E

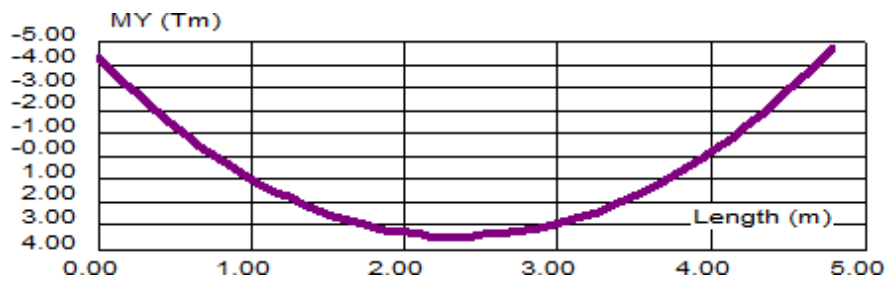


FIGURE 3.15 : diagramme de MY

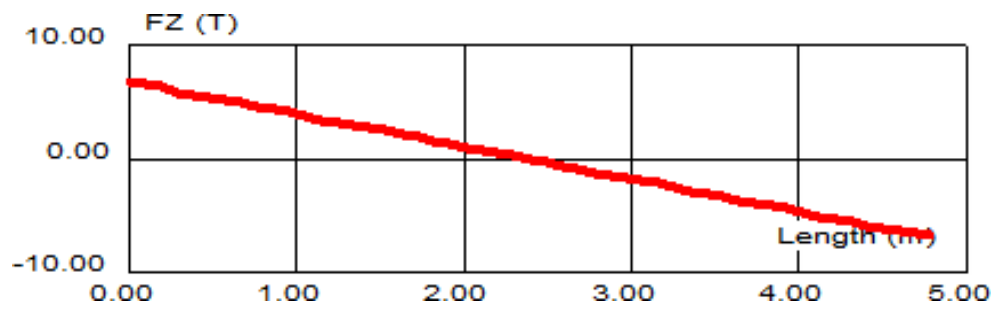


FIGURE 3.16 : diagramme de FZ

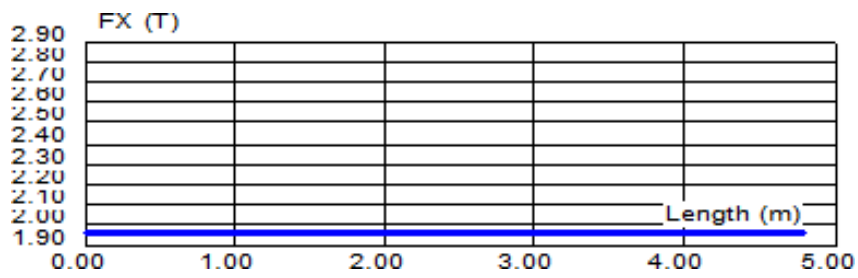


FIGURE 3.17 : diagramme de FX

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	FZ [T]	My [T.m]	Nom du cas
838/770/7 (C)/	3.13	9.26	-6.26	G+Q+Ex
838/769/7 (C)/	3.13	-9.50	-6.85	G+Q+Ex
838/769/16 (C) (CQC)/	2.67	6.90	-4.94	G+Q+Ey
838/770/16 (C) (CQC)/	2.67	-6.81	-5.27	G+Q+Ey
838/769/8 (C) (CQC)/	2.60	-6.83	-5.23	0.8G+Ex
838/770/8 (C) (CQC)/	2.60	6.88	-4.88	0.8G+Ex
838/770/18 (C) (CQC)/	2.37	7.53	-5.27	G+Q+Ey
838/769/18 (C) (CQC)/	2.37	-6.18	-6.95	G+Q+Ey
838/769/10 (C) (CQC)/	2.36	-6.31	-6.62	0.8G+Ey
838/770/10 (C) (CQC)/	2.36	7.40	-5.99	0.8G+Ey
838/770/6 (C)/	2.28	6.77	-4.58	0.8G+Ey
838/769/6 (C)/	2.28	-6.94	-4.99	0.8G+Ey
838/769/20 (C)/	2.20	6.14	-5.18	G+Q+Ex
838/770/20 (C)/	2.20	-7.57	-3.37	G+Q+Ex
838/769/11 (C) (CQC)/	2.19	-7.70	-3.04	0.8G+Ex
838/770/11 (C) (CQC)/	2.19	6.01	-2.89	0.8G+Ex

TABLEAU 3.16 : tableau des efforts dans la poutre

3.3.5.2 Poteau (40x40)

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	MY [Tm]	Nom du cas
13/25/16 (C) (CQC)	42.57	-4.34	G+Q+1.2Ex
13/26/16 (C) (CQC)	41.33	-2.03	G+Q+1.2Ex
13/25/18 (C) (CQC)	36.06	-0.63	G+Q+1.2Ey
13/26/28 (C) (CQC)	34.82	0.84	G+Q+1.2Ey
13/25/12 (C) (CQC)	29.31	-2.91	0.8G+Ex
13/25/19 (C) (CQC)	29.18	-0.43	G+Q+1.2Ey
13/26/12 (C) (CQC)	28.32	-1.33	0.8G+Ex
13/26/19 (C) (CQC)	27.94	1.25	G+Q+1.2Ey
13/25/14 (C) (CQC)	24.97	-0.43	0.8G+Ey
13/26/14 (C) (CQC)	23.98	0.58	0.8G+Ey
13/25/17 (C) (CQC)	22.67	3.28	G+Q+1.2Ex
13/26/17 (C) (CQC)	21.43	4.11	G+Q+1.2Ex
13/25/15 (C) (CQC)	20.38	-0.30	0.8G+Ey
13/26/15 (C) (CQC)	19.39	0.85	0.8G+Ey
13/25/33 (C) (CQC)	16.04	2.18	0.8G+Ex
13/26/33 (C) (CQC)	15.05	2.76	0.8G+Ex

TABLEAU 3.17 : tableau des efforts dans le poteau

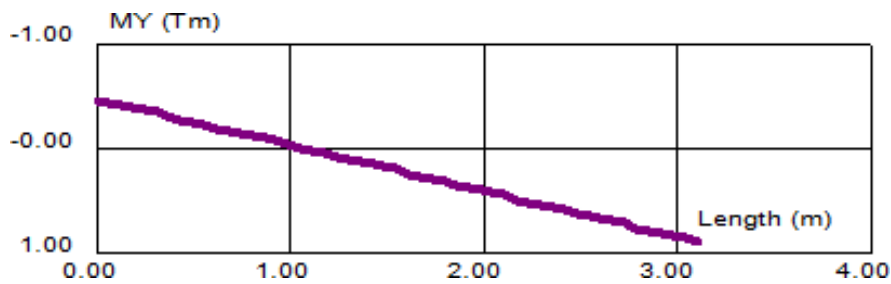


FIGURE 3.18 : diagramme de MY

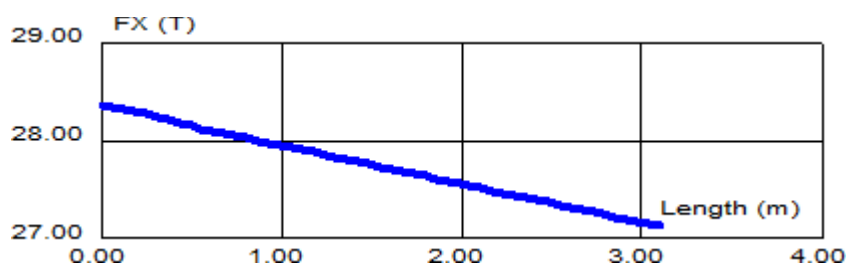


FIGURE3.19 : diagramme de FX

3.3.5.3 Voile (ép. = 20cm)

Barre/ Nœud/ Cas	MXX (Tm/m)	MYY (Tm/m)	NXX (T/m)	NYX (T/m)	tXX (T/m ²)	tYY (T/m ²)
476/14/10 (C) (CQC)	0,80	2,25	41,72	61,53	61,78	25,73
476/120/10 (C) (CQC)	0,68	2,03	36,30	51,28	53,52	23,14
476/109/10 (C) (CQC)	0,61	1,97	28,23	35,54	49,54	21,49
476/14/14 (C) (CQC)	0,53	1,89	27,12	29,46	42,80	21,18
476/120/14 (C) (CQC)	0,52	1,81	24,56	27,59	41,31	19,49
476/121/10 (C) (CQC)	0,47	1,71	20,79	26,23	41,16	18,25
476/109/14 (C) (CQC)	0,46	1,70	20,68	22,63	33,72	17,92
476/110/14 (C) (CQC)	0,44	1,68	20,65	21,59	32,98	17,55
476/121/14 (C) (CQC)	0,42	1,56	18,74	20,53	29,83	15,97
476/110/14 (C) (CQC)	0,41	1,54	18,71	25,73	25,73	15,09
476/119/10 (C) (CQC)	0,40	1,50	16,46	18,25	27,50	14,92
476/125/10 (C) (CQC)	0,39	1,47	15,69	16,95	27,35	14,29
476/111/10 (C) (CQC)	0,39	1,43	14,73	16,13	26,22	13,42
476/122/10 (C) (CQC)	0,38	1,37	13,97	15,54	26,04	13,26
476/13/10 (C) (CQC)	0,37	1,35	12,81	15,06	24,82	12,80
476/106/10 (C) (CQC)	0,35	1,31	12,54	15,72	16,76	12,43

TABLEAU 3.18 : Tableau des moments et des forces dans le voile

3.4 Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S2

3.4.1 Périodes propres T

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]
3/1	1.91	0.52
3/2	2.22	0.45
3/3	2.43	0.41
3/4	3.64	0.27
3/5	3.91	0.26
3/6	5.11	0.20
3/7	5.88	0.17
3/8	6.88	0.15
3/9	6.91	0.14
3/10	7.78	0.13

TABLEAU 3.19 : tableau des valeur de periode cas (S2)

3.4.2 la force sismique

l'effort dynamique a la base suivant le sense X-X $E_x(t) = 119.99\text{Ton}$

l'effort dynamique a la base suivant le sense Y-Y $E_y(t) = 101.41\text{Ton}$

l'effort Statique a la base suivant le sense X-X $V_x(t) = 120.43\text{Ton}$

l'effort Statique a la base suivant le sense Y-Y $V_y(t) = 120.43\text{Ton}$

3.4.3 facteur de sécurité vis- à-vis du renversement

Niveau	F_k (Ton)	h_k (m)	$F_k * h_k$	W_k (Ton)	b_i (m)	$W_k * b_i$
RDC	12,87	3.1	39,897	239,38	11.368	2721.271
1	16,72	6.2	103.664	233,4	11.368	2653.291
2	23,19	9.3	215.667	233,4	11.368	2653.291
3	23,41	12.4	290.284	233,4	11.368	2653.291
4	43,8	15.5	678.9	250,45	11.368	2847.115

TABLEAU 3.20 : tableau de renversement sense x.x cas (S2)

$$F_r = 10.183$$

Niveau	F_k (Ton)	h_k (m)	$F_k * h_k$	W_k (Ton)	b_i (m)	$W_k * b_i$
RDC	10,15	3.1	31,465	239,38	4.255	1018.561
1	13,86	6.2	85.932	233,4	4.255	993.117
2	20,61	9.3	191.673	233,4	4.255	993.117
3	24,04	12.4	298.096	233,4	4.255	993.117
4	32,75	15.5	507.625	250,45	4.255	1065.664

TABLEAU 3.21 : tableau de renversement sense y.y cas (S2)

$$Fr = 4.542$$

3.4.4 déplacements inter étages dus aux forces sismiques

Niveau	P_k (ton)	δ_k (cm)	V_k (Ton)	h_k (m)	ϑ_k
RDC	1190,03	0,2	119,99	3.1	0,006398
1	950,65	0,4	107,12	3.1	0,011451
2	717,25	0,6	90,4	3.1	0,015356
3	483,85	0,7	67,21	3.1	0,016255
4	250,45	0,8	43,8	3.1	0,014756

TABLEAU 3.22 : tableau de déplacement sense x.x cas (S2)

Niveau	P_k (ton)	δ_k (cm)	V_k (Ton)	h_k (m)	ϑ_k
RDC	1190,03	0,2	101,41	3.1	0,00757
1	950,65	0,4	91,26	3.1	0,013441
2	717,25	0,7	77,4	3.1	0,020925
3	483,85	0,9	56,79	3.1	0,024735
4	250,45	1,1	32,75	3.1	0,027135

TABLEAU 3.23 : tableau de déplacement sense y.y cas S2

ETAGE	Sense x.x	Sense y.y
RDC	1	1
1	2	2
2	3	3,5
3	3,5	4,5
4	4	5,5

TABLEAU 3.24 : tableau de déplacement absolus cas (S2)

3.4.5 les efforts dans de quelques éléments

3.4.5.1 Poutre (30x40)

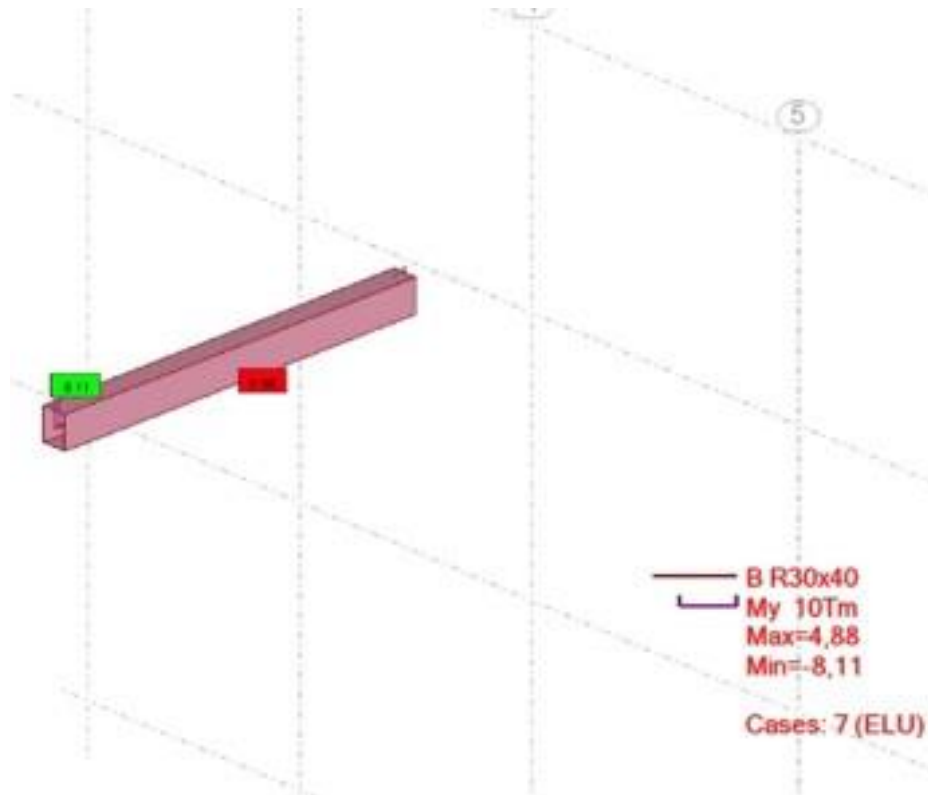


FIGURE 3.20 Effort dans la poutre MY sous ELU

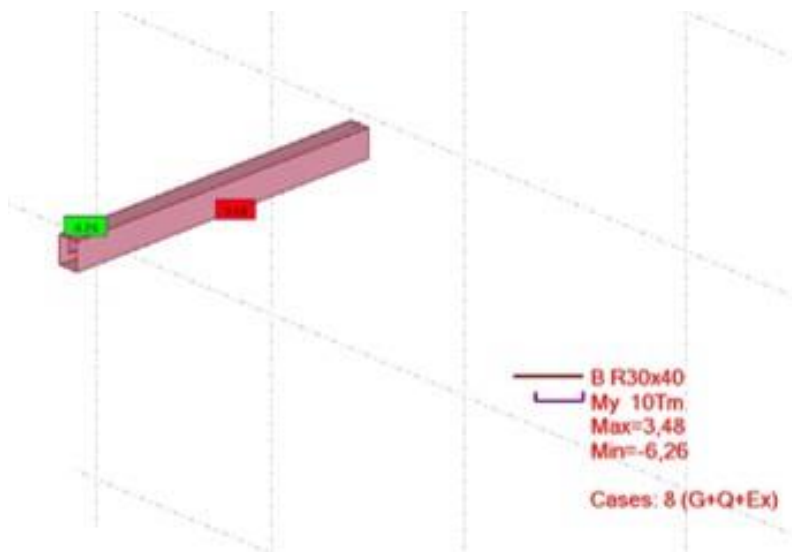


FIGURE 3.21 : Effort dans la poutre MY sous , G+Q+EX

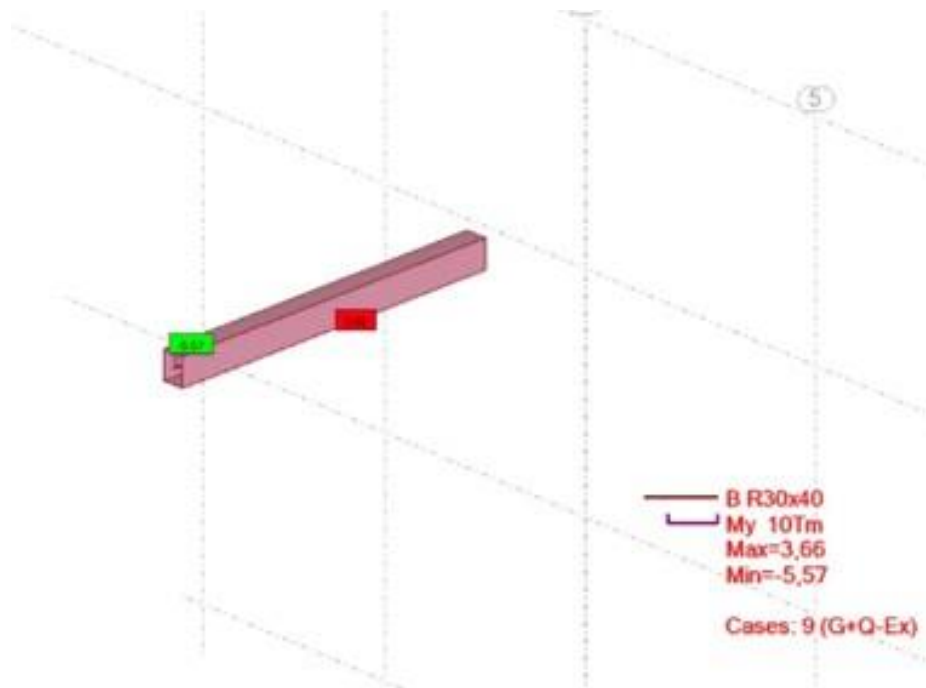


Figure 3.22 : Effort dans la poutre MY sous , G+Q-EX

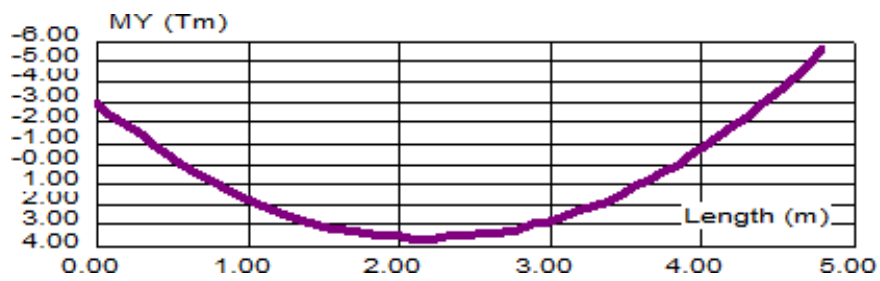


Figure 3.23 : diagramme de MY

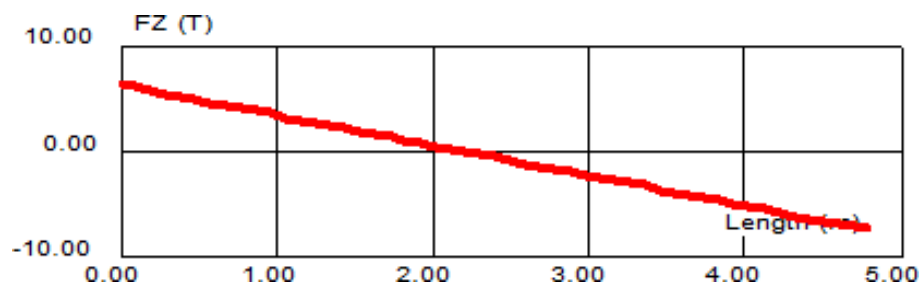


Figure 3.24 : diagramme de FZ

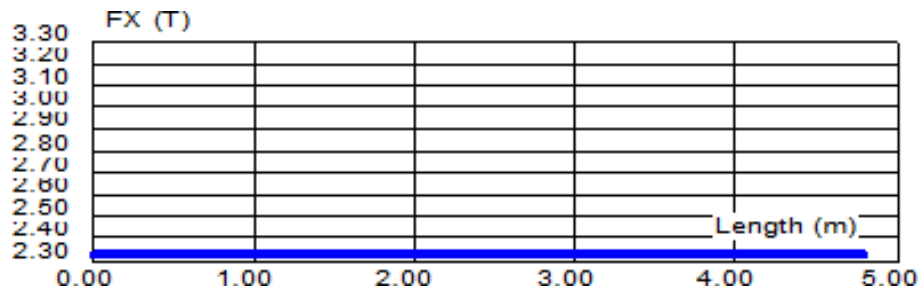


Figure 3.25 : diagramme de FX

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	FZ [T]	My [T.m]	Nom du cas
838/770/7 (C)/	3,76	8,68	-4,77	G+Qo+Ex
838/769/7 (C)/	3,76	-10,08	-8,11	G+Qo+Ex
838/769/16 (C)/	3,23	-6,55	-6,33	G+Qo+Ex
838/769/17 (C)/	3,23	-6,55	-6,33	G+Qo+Ex
838/769/7 (C)/	3,15	-7,19	-6,26	0.8G+Ey
838/770/8 (C)/	2,79	-5,17	-4,90	0.8G+Ey
838/770/18 (C)/	2,79	-5,17	-4,90	0.8G+Ey
838/770/18 (C)/	2,79	-5,17	-4,90	0.8G+Ey
838/770/10 (C)/	2,78	-5,06	-4,90	0.8G+Ey
838/770/10 (C)/	2,78	-5,06	-4,90	0.8G+Ey
838/770/16 (C)/	2,68	-5,16	-4,79	0.8G+Ey
838/770/16 (C)/	2,68	-5,16	-4,79	0.8G+Ey
838/770/11 (C)/	2,69	-3,89	-4,31	0.8G+Ey

TABLEAU 3.25 : tableau des efforts dans la poutre

3.4.5.2 poteau(40x40)

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	MY [Tm]	Nom du cas
13/25/16 (C) (CQC)	33,76	-6,16	G+Q+1.2Ex
13/26/16 (C) (CQC)	32,52	-3,02	G+Q+1.2Ex
13/25/18 (C) (CQC)	30,01	-0,78	G+Q+1.2Ex
13/26/18 (C) (CQC)	28,77	0,13	G+Q+1.2Ex
13/25/12 (C) (CQC)	23,30	-4,12	0.8G+Ey
13/26/12 (C) (CQC)	23,30	-4,12	0.8G+Ey
13/25/19 (C) (CQC)	22,39	-0,56	G+Q+1.2Ex
13/25/12 (C) (CQC)	22,30	-1,99	0.8G+Ex
13/26/13 (C) (CQC)	21,15	1,65	G+Q+1.2Ey
13/25/14 (C) (CQC)	20,80	0,90	0.8G+Ey
13/25/14 (C) (CQC)	19,81	0,83	0.8G+Ey
13/25/17 (C) (CQC)	18,65	-0,92	0.8G+Ey
13/26/17 (C) (CQC)	17,40	5,87	G+Q+1.2Ex
13/25/15 (C) (CQC)	17,55	-0,38	0.8G+Ey
13/25/13 (C) (CQC)	14,12	1,12	0.8G+Ey
13/26/13 (C) (CQC)	12,23	3,04	0.8G+Ex

TABLEAU 3.26 : tableau des efforts dans le poteau

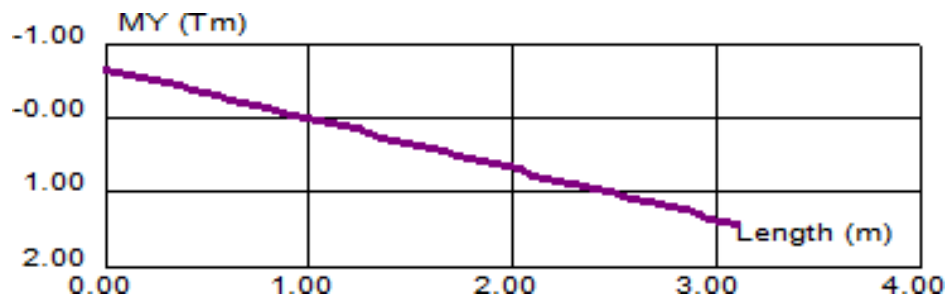


FIGURE 3.26 : diagramme de MY

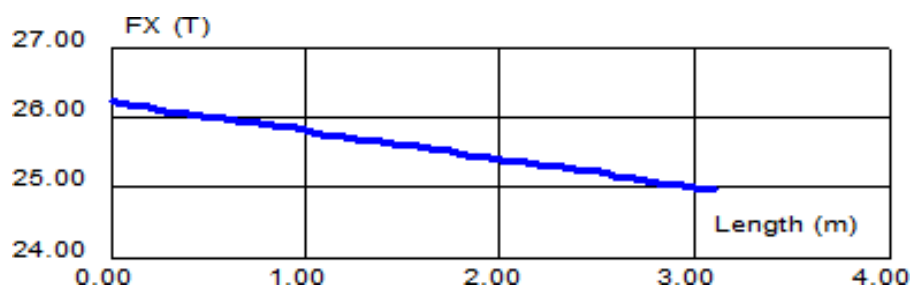


Figure 3.27 : diagramme de FX

3.4.5.3 voile(ep=20cm)

Barre/Noeud/Cas	MXX (Tm/m)	MYX (Tm/m)	NXX (T/m)	NYX (T/m)	tXX (T/m ²)	tYY (T/m ²)
476/14/10 (C) (CQC)	1,21	3,44	87,19	46,09	79,97	42,21
476/120/14 (C) (CQC)	1,10	3,36	75,46	39,53	76,59	35,32
476/109/10 (C) (CQC)	1,03	3,07	61,07	28,41	69,20	35,14
476/14/14 (C) (CQC)	1,02	2,88	58,84	22,51	66,34	35,04
476/120/14 (C) (CQC)	0,96	2,86	58,63	22,25	65,94	29,33
476/121/10 (C) (CQC)	0,92	2,83	52,20	21,19	56,65	28,52
476/109/14 (C) (CQC)	0,90	2,78	44,37	20,96	53,83	28,03
476/110/10 (C) (CQC)	0,88	2,69	40,84	20,05	48,31	27,81
476/121/14 (C) (CQC)	0,87	2,57	37,37	19,81	53,17	26,81
476/110/14 (C) (CQC)	0,86	2,51	36,39	18,48	53,54	23,77
476/119/10 (C) (CQC)	0,82	2,35	30,10	18,38	48,32	23,67
476/125/10 (C) (CQC)	0,81	2,29	24,65	17,87	48,47	22,82
476/111/10 (C) (CQC)	0,76	2,25	24,54	16,45	45,17	21,25
476/122/10 (C) (CQC)	0,73	2,23	24,20	16,92	43,61	19,93
476/13/10 (C) (CQC)	0,73	2,19	23,25	14,88	41,95	20,24

- TABLEAU 3.27 : Tableau des moments et des forces dans le voile

3.5 Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S3

3.5.1 Périodes propres T

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]
3/1	1,69	0,59
3/2	1,96	0,51
3/3	2,17	0,46
3/4	3,52	0,28
3/5	3,74	0,27
3/6	4,98	0,20
3/7	5,64	0,18
3/8	6,53	0,15
3/9	6,69	0,15
3/10	6,85	0,15

TABLEAU 3.28 : tableau de periode cas S3

3.5.1 la force sismique

l'effort dynamique a la base suivant le sense X-X $E_x(t) = 132.19\text{Ton}$

l'effort dynamique a la base suivant le sense Y-Y $E_y(t) = 111.92\text{Ton}$

l'effort Statique a la base suivant le sense X-X $V_x(t) = 120.43\text{Ton}$

l'effort Statique a la base suivant le sense Y-Y $V_y(t) = 120.43\text{Ton}$

3.5.2 facteur de sécurité vis- à-vis du renversement

Nivea	Fk (Ton)	hk (m)	Fk * hk	Wx (Ton)	bi (m)	Wx * bi
RDC	17,26	3,1	53,506	239,38	11,368	2721.272
1	18,36	6,2	113.832	233,4	11.368	2653.29
2	24,95	9.3	232.035	233,4	11.368	2653.29
3	18,98	12.4	235.352	233,4	11.368	2653.29
4	52,64	15.5	815.92	250,45	11.368	2847.116

TABLEAU 3.29 : Tableau de renversement sens x.x cas S3

$$Fr=9.325$$

Niveau	Fk (Ton)	hk (m)	Fk * hk	Wx (Ton)	bi (m)	Wx * bi
RDC	13,63	3,1	42,253	239,38	4,255	1018,561
1	15,23	6,2	94,426	233,4	4,255	993,117
2	22,19	9,3	206,367	233,4	4,255	993,117
3	25,53	12,4	316,572	233,4	4,255	993,117
4	35,34	15,5	547,77	250,45	4,255	1065,664

TABLEAU 3.30 : Tableau de renversement sens y.y cas S3

Fr= 4.194

3.5.3 déplacement inter étage dus aux force sismique

Niveau	P_k (ton)	Δ_k (cm)	V_k (Ton)	h_k (m)	ϑ_k
RDC	1190,03	0,3	132,19	3,1	0,008712
1	950,65	0,5	114,93	3,1	0,0133412
2	717,25	0,8	96,57	3,1	0,0191671
3	483,85	1,1	71,62	3,1	0,0217929
4	250,45	1,1	52,64	3,1	0,0168825

TABLEAU 3.31 : tableau de déplacement sens x.x cas S3

Niveau	P_k (ton)	Δ_k (cm)	$V_{d,k}$ (Ton*m)	h_k (m)	ϑ_k
RDC	1190,03	0,3	111,92	3,1	0,0102899
1	950,65	0,6	98,29	3,1	0,0187198
2	717,25	0,9	83,06	3,1	0,0250703
3	483,85	1,2	60,87	3,1	0,03077
4	250,45	1,5	35,34	3,1	0,0342913

TABLEAU 3.32 : tableau de déplacement sens y.y cas s3

ETAGE	SENS X.X	SENS Y.Y
RDC	1,5	1,5
1	2,5	3
2	4	4,5
3	5	6
4	5,5	7,5

TABLEAU 3.33 : déplacement absolus cas s3

3.5.4 les efforts dans de quelques éléments

3.5.4.1 Poutre (30x40) :

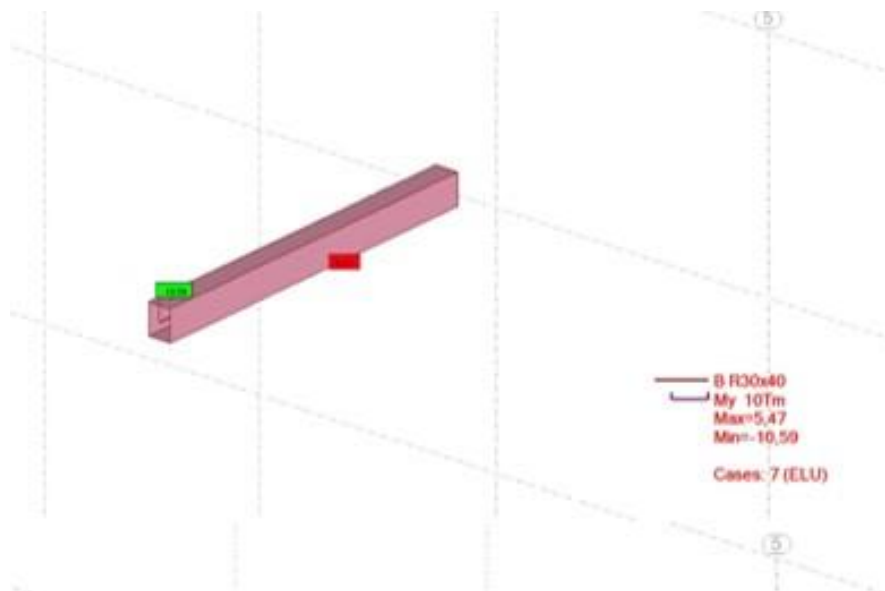


Figure 3.28 : Effort dans la poutre MY sous ELU

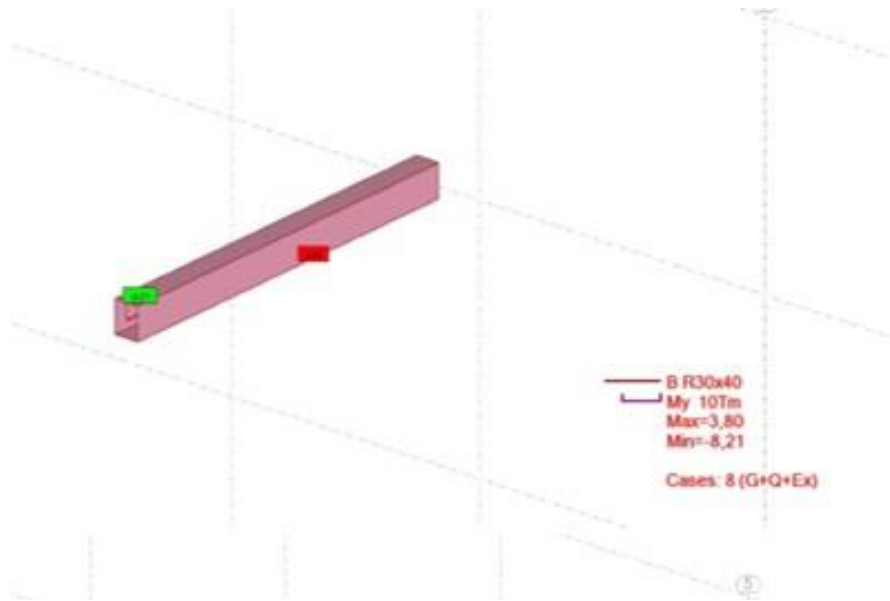


Figure 3.29 : Effort dans la poutre MY sous ,G+Q+EX

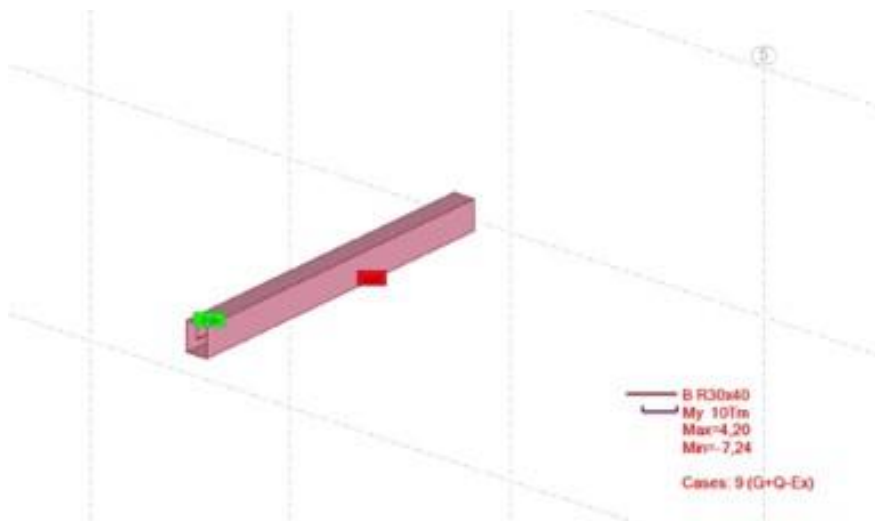


Figure 3.30 : Effort dans la poutre MY sous ,G+Q-EX

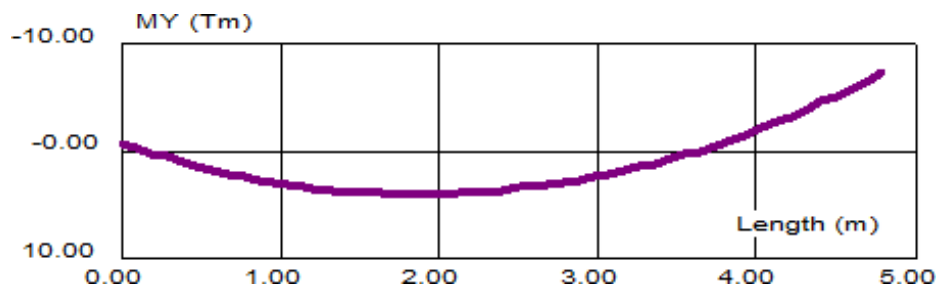


Figure 3.31 : diagramme de MY

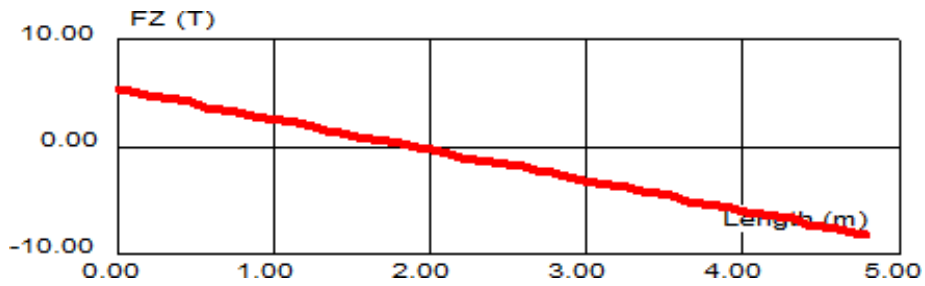


Figure 3.32 : diagramme de FZ

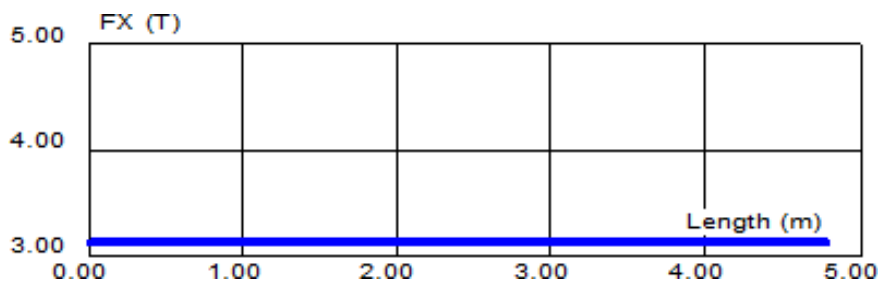


Figure 3.33 : diagramme de FX

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	FZ [T]	M_y [T.m]	Nom du cas
838/770/7 (C)/	5,01	7,57	-1,85	G+Q+Ex
838/769/7 (C)/	5,01	-11,20	-10,56	G+Q+Ex
838/769/16 (CQC)/	4,18	-7,89	-8,28	G+Q+Ex
838/770/8 (CQC)/	4,09	5,82	-2,17	0.8G+Ex
838/769/8 (CQC)/	4,09	5,78	-2,04	0.8G+Ex
838/770/8 (CQC)/	3,83	-9,73	-8,18	0.8G+Ex
838/770/18 (CQC)/	3,83	-6,99	-10,63	G+Q+Ex
838/769/18 (C)/	3,83	-6,72	-4,10	0.8G+Ey
838/770/10 (CQC)/	3,80	6,58	-3,64	0.8G+Ey
838/770/10 (CQC)/	3,80	7,19	-10,14	G+Q+Ex
838/769/6 (CQC)/	3,64	8,34	-7,70	0.8G+Ey
838/769/6 (CQC)/	3,64	5,87	-1,28	0.8G+Ey
838/770/11 (CQC)/	3,49	4,15	-9,70	0.8G+Ex
838/769/11 (CQC)/	3,49	4,55	-5,55	0.8G+Ex
838/770/11 (CQC)/	3,46	3,95	-4,76	0.8G+Ex

TABLEAU 3.34 : tableau des efforts de poutre

3.5.4.2 poteau(40x40)

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	MY [Tm]	Nom du cas
13/25/18 (C) (CQC)	23,91	-0,53	G+Q+1.2Ex
13/25/16 (C) (CQC)	23,44	-6,62	G+Q+1.2Ex
13/26/17 (C) (CQC)	22,67	1,47	G+Q+1.2Ex
13/26/16 (C) (CQC)	22,20	3,09	G+Q+1.2Ex
13/25/14 (C) (CQC)	16,62	-0,36	0.8G+Ey
13/25/17 (C) (CQC)	15,60	5,68	G+Q+1.2Ex
13/26/14 (C) (CQC)	16,34	-4,42	0.8G+Ey
13/25/19 (C) (CQC)	16,00	-0,41	G+Q+1.2Ey
13/26/19 (C) (CQC)	15,22	0,54	G+Q+1.2Ey
13/26/18 (C) (CQC)	15,32	-2,24	0.8G+Ex
13/26/17 (C) (CQC)	15,26	6,56	G+Q+1.2Ex
13/26/14 (C) (CQC)	14,80	1,70	G+Q+1.2Ey
13/26/15 (C) (CQC)	13,15	4,11	0.8G-Ex
13/26/15 (C) (CQC)	11,37	-9,07	0.8G-Ex
13/26/15 (C) (CQC)	10,69	4,40	0.8G-Ey
13/26/15 (C) (CQC)	10,38	1,15	0.8G-Ey

TABLEAU 3.35 : Tableau des efforts de poteau

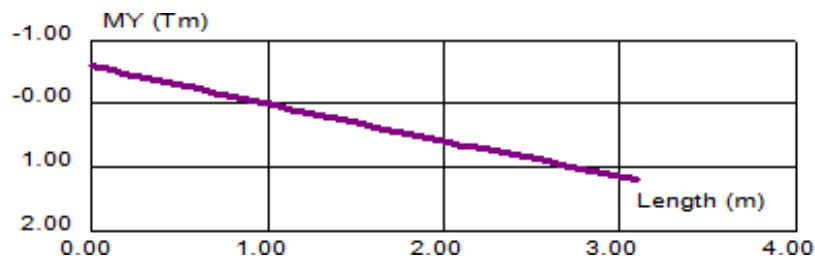


Figure 3.34 : diagramme de MY

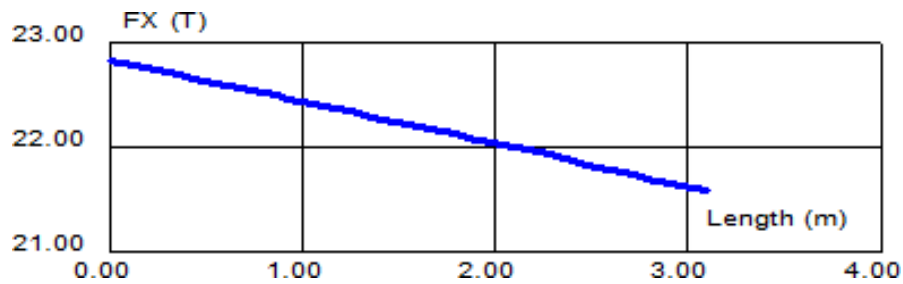


Figure 3.35 : diagramme de FX

3.5.4.3 voile(ep=20cm)

Barre/Noeud/Cas	MXX (Tm/m)	MYY (Tm/m)	NXX (T/m)	NYX (T/m)	tXX (T/m ²)	tYY (T/m ²)
476/14/10 (C) (CQC)	1,71	4,79	140,67	34,09	96,12	58,72
476/120/10 (C) (CQC)	1,51	4,73	121,81	27,04	88,83	50,84
476/109/10 (C) (CQC)	1,47	4,23	105,19	26,04	83,45	48,55
476/14/14 (C) (CQC)	1,43	4,21	110,95	24,42	82,50	48,05
476/120/14 (C) (CQC)	1,37	4,04	94,31	22,70	75,59	40,52
476/121/10 (C) (CQC)	1,36	3,94	90,24	20,73	75,14	39,70
476/109/14 (C) (CQC)	1,29	3,93	74,26	20,04	74,02	38,85
476/110/10 (C) (CQC)	1,27	3,75	70,81	20,00	74,00	37,83
476/121/14 (C) (CQC)	1,25	3,56	53,76	19,50	71,29	37,60
476/110/14 (C) (CQC)	1,23	3,50	53,08	19,05	66,40	31,25
476/125/10 (C) (CQC)	1,22	3,44	49,89	18,56	66,21	31,19
476/125/14 (C) (CQC)	1,20	3,17	41,35	17,15	65,56	31,16
476/122/10 (C) (CQC)	1,13	3,14	37,60	14,65	63,83	30,83
476/106/10 (C) (CQC)	1,08	3,12	36,32	14,40	58,98	28,56
476/106/14 (C) (CQC)	1,06	2,82	36,13	14,34	57,27	27,85

TABLEAU 3.36 : Tableau des moments et des forces dans le voile

3.6 Etude de la structure en tenant compte de l'effet de l'interaction sol structure cas du site S4

3.6.1 Periode propres T

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]
3/1	1,28	0,78
3/2	1,57	0,64
3/3	1,80	0,56
3/4	3,37	0,30
3/5	3,51	0,28
3/6	3,61	0,28
3/7	4,31	0,23
3/8	6,53	0,15
3/9	6,69	0,15
3/10	6,85	0,15

TABLEAU 3.37 : tableau de periode cas S4

3.6.2 la force sismique

l'effort dynamique a la base suivant le sense X-X $E_x(t) = 138,51\text{Ton}$

l'effort dynamique a la base suivant le sense Y-Y $E_y(t) = 121,67\text{Ton}$

l'effort Statique a la base suivant le sense X-X $V_x(t) = 120.43\text{Ton}$

l'effort Statique a la base suivant le sense Y-Y $V_y(t) = 120.43\text{Ton}$

3.6.3 facteur de sécurité vis- à-vis du renversement

Niveau	F_k (Ton)	h_k (m)	$F_k \cdot h_k$	W_k (Ton)	b_i (m)	$W_k \cdot b_i$
RDC	23,18	3,1	71,858	239,38	11,368	2721,272
1	19,37	6,2	120,094	233,4	11,368	2653,29
2	25,72	9,3	239,196	233,4	11,368	2653,29
3	16,5	12,4	204,6	233,4	11,368	2653,29
4	53,74	15,5	832,97	250,45	11,368	2847,116

TABLEAU 3.38 : tableau de renversement sens x.x cas S4

Fr= 9.210

Niveau	F_k (Ton)	h_k (m)	$F_k \cdot h_k$	W_k (Ton)	b_i (m)	$W_i \cdot b_i$
RDC	20,16	3,1	62,496	239,38	4,255	1018,561
1	16,19	6,2	100,378	233,4	4,255	993,117
2	22,6	9,3	210,18	233,4	4,255	993,117
3	26,15	12,4	324,26	233,4	4,255	993,117
4	36,57	15,5	566,835	250,45	4,255	1065,664

TABLEAU 3.39 : tableau de renversement sense y.y cas S4

Fr= 4.00

3.6.4 déplacement inter etages dus aux force sismique

Niveau	P _k (ton)	Δ _k (cm)	V _k (Ton*m)	h _k (m)	ϑ _k
RDC	1190,03	0,5	138,51	3,1	0,0138575
1	950,65	0,8	115,33	3,1	0,0212719
2	717,25	1,2	95,96	3,1	0,0289334
3	483,85	1,5	70,24	3,1	0,0333316
4	250,45	1,7	53,74	3,1	0,025557

TABLEAU 3.40 : tableau de déplacement sense x.x cas S4

Niveau	P _k (ton)	Δ _k (cm)	V _k (Ton*m)	h _k (m)	ϑ _k
RDC	1190,03	0,5	121,67	3,1	0,0157755
1	950,65	1,1	101,51	3,1	0,033231
2	717,25	1,6	85,32	3,1	0,0433888
3	483,85	2,1	62,72	3,1	0,0522591
4	250,45	2,5	36,57	3,1	0,0552299

TABLEAU 3.41 : tableau de déplacement sens y.y cas S4

ETAGE	SENS X.X	SENS Y.Y
RDC	2,5	2,5
1	4	5,5
2	6	8
3	7,5	10,5
4	8,5	12,5

TABLEAU 3.42 : tableau de déplacement absolus cas S4

3.6.5 les efforts dans de quelques éléments

3.6.5.1 Poutre (30x40)

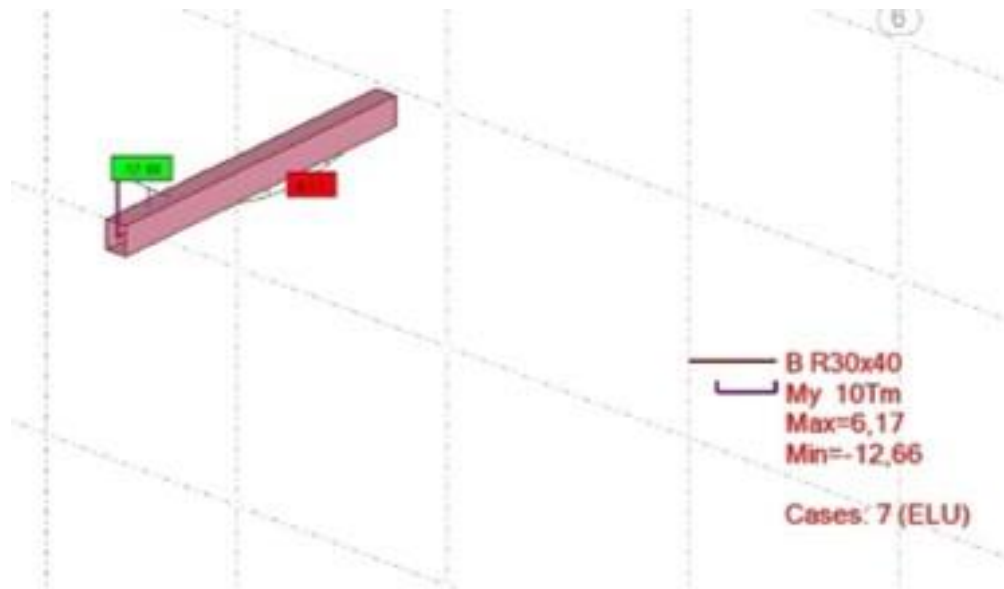


Figure 3.36 : Effort dans la poutre MY sous ELU

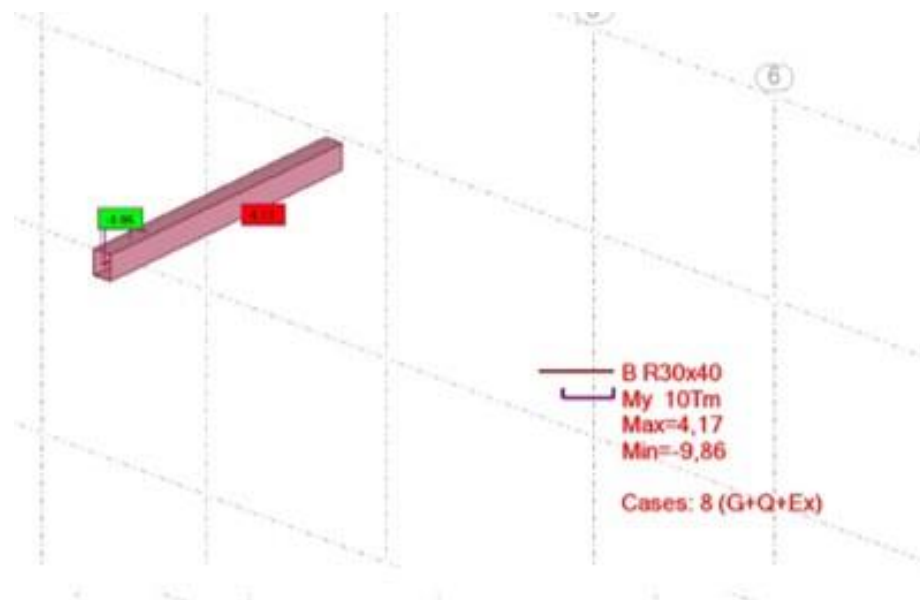


Figure 3.37 : Effort dans la poutre MY sous , G+Q+EX

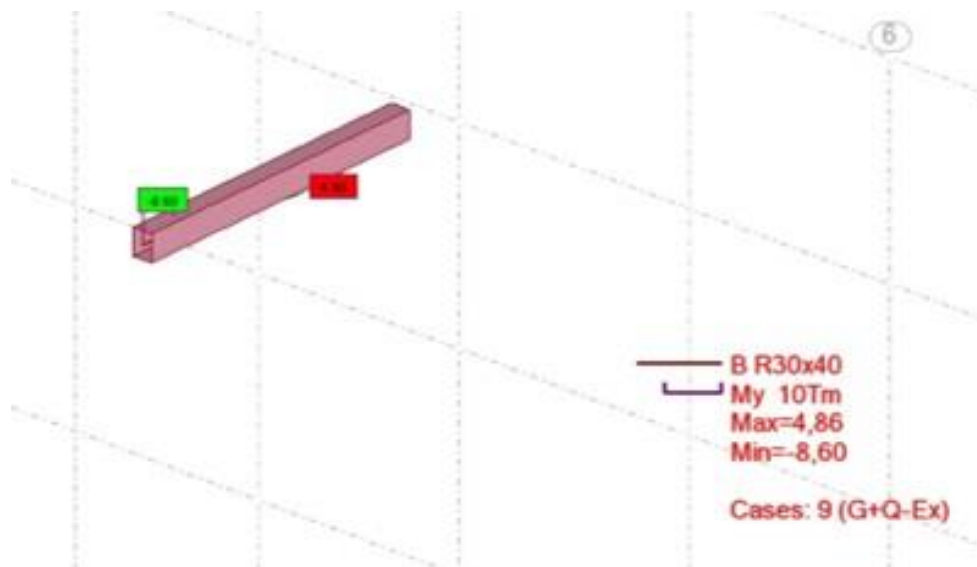


Figure 3.38 : Effort dans la poutre MY sous , G+Q-EX

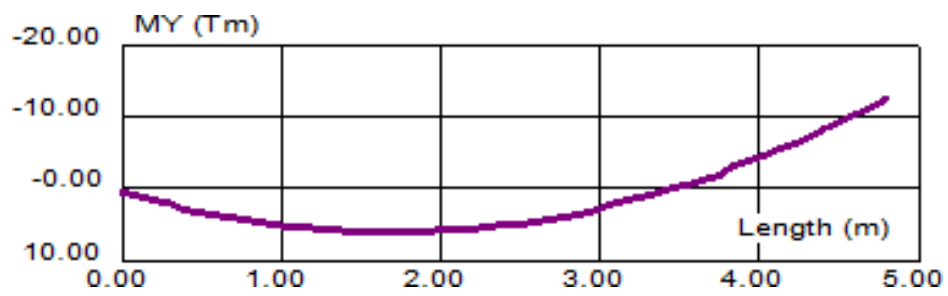


Figure 3.39 : diagramme de MY

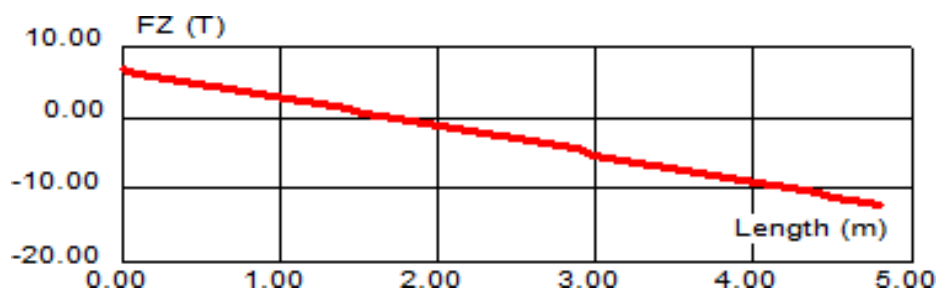


Figure 3.40 : diagramme de FZ

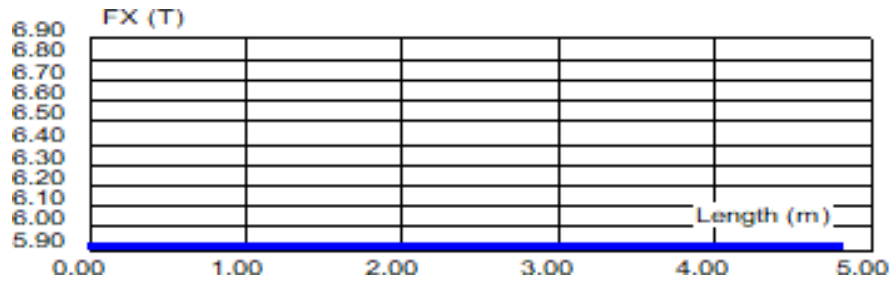


FIGURE 3.41 : diagramme de FX

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	FZ [T]	M_y [T _m]	Nom du cas
838/770/7 (C)/	5,92	6,63	0,55	G+Q+Ex
838/769/7 (C)/	5,92	-12,14	-12,66	G+Q+Ex
838/769/16 (C) (CQC)/	5,00	5,03	-6,08	G+Q+Ex
838/770/16 (C) (CQC)/	4,89	-8,54	1,55	0.8G+Ex
838/770/8 (C)/	4,89	-4,94	-0,50	0.8G+Ex
838/769/8 (C)/	4,58	-6,79	-1,87	G+Q+Ex
838/770/18 (C)/	4,58	-7,89	-1,87	G+Q+Ex
838/769/18 (C)/	4,54	-7,89	-1,87	G+Q+Ex
838/770/8 (C)/	4,31	4,85	0,38	0.8G+Ex
838/769/8 (C)/	4,31	-8,93	-0,38	0.8G+Ex
838/769/16 (C) (CQC)/	4,03	-5,83	-0,18	0.8G+Ex
838/770/16 (C) (CQC)/	4,03	-8,38	-0,18	0.8G+Ex
838/769/11 (C)/	4,03	-8,38	0,18	0.8G+Ex

TABLEAU 3.43 : tableau des efforts de poutre

3.6.5.2 poteau(40x40)

Barre/Noeud/Cas	FX [T]	MY [Tm]	Nom du cas
13/25/18 (C) (CQC)	21,17	0,18	G+Q+1.2Ex
13/26/18 (C) (CQC)	19,93	1,14	G+Q+1.2Ey
13/25/16 (C) (CQC)	18,29	-5,21	G+Q+1.2Ex
13/26/16 (C) (CQC)	17,05	-2,32	G+Q+1.2Ex
13/25/17 (C) (CQC)	16,67	5,62	G+Q+1.2Ey
13/26/17 (C) (CQC)	15,43	4,82	G+Q+1.2Ey
13/25/14 (C) (CQC)	14,03	0,23	0.8G+Ey
13/26/14 (C) (CQC)	13,70	0,77	0.8G+Ey
13/25/19 (C) (CQC)	12,87	0,23	G+Q+1.2Ey
13/26/12 (C) (CQC)	12,87	-3,47	0.8G+Ex
13/25/19 (C) (CQC)	12,82	1,26	G+Q+1.2Ey
13/26/12 (C) (CQC)	11,88	-1,60	0.8G+Ex
13/25/13 (C) (CQC)	11,79	3,75	0.8G+Ex
13/26/13 (C) (CQC)	10,95	0,85	0.8G+Ey
13/25/15 (C) (CQC)	9,87	0,16	0.8G+Ex
13/26/15 (C) (CQC)	8,88	0,85	0.8G+Ey

TABEAU 3.44 : tableau des efforts de poteau

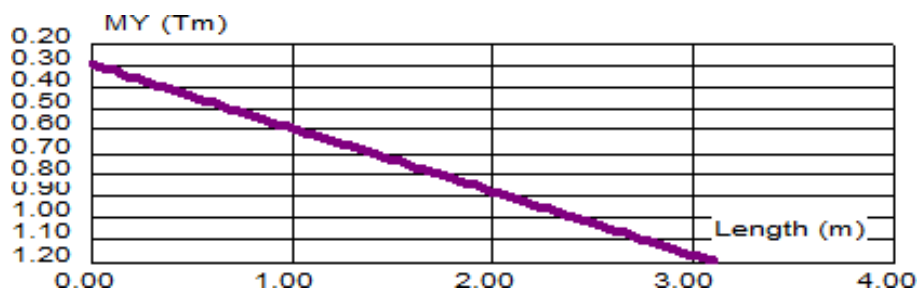


Figure 3.42 : diagramme de MY

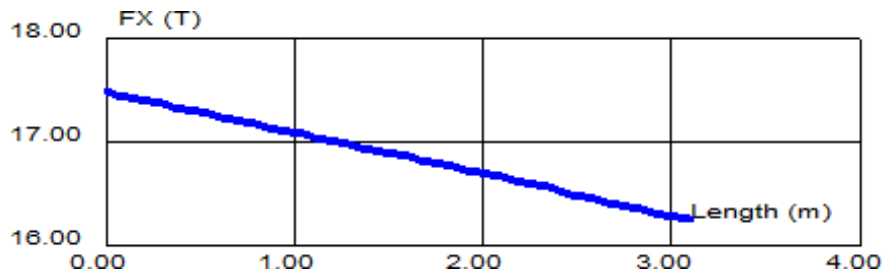


FIGURE 3.43 : diagramme de FX

3.6.5.3 voile (ep=20cm)

Barre/Noeud/Cas	MXX (Tm/m)	MYX (Tm/m)	NXX (T/m)	NYX (T/m)	tXX (T/m ²)	tYY (T/m ²)
476/14/10 (C) (CQC)	2,65	7,10	194,20	42,83	107,30	75,24
476/120/10 (C) (CQC)	2,40	6,88	168,23	35,68	104,99	74,75
476/109/10 (C) (CQC)	2,26	6,41	148,56	30,95	100,89	73,36
476/14/14 (C) (CQC)	2,06	6,35	134,80	27,37	100,72	72,30
476/120/14 (C) (CQC)	1,99	6,13	129,84	25,50	98,70	60,78
476/121/10 (C) (CQC)	1,95	5,82	127,79	24,08	94,62	60,48
476/109/14 (C) (CQC)	1,79	5,33	103,85	23,75	91,33	53,61
476/110/10 (C) (CQC)	1,79	5,32	103,30	23,57	89,57	53,60
476/121/14 (C) (CQC)	1,78	5,11	74,68	19,66	83,81	49,57
476/110/14 (C) (CQC)	1,78	5,04	73,19	19,48	86,91	49,51
476/119/10 (C) (CQC)	1,61	4,96	69,97	18,42	79,37	48,63
476/125/10 (C) (CQC)	1,59	4,90	68,71	18,27	77,21	47,64
476/111/10 (C) (CQC)	1,52	4,68	55,78	17,27	75,02	47,60
476/122/10 (C) (CQC)	1,40	4,52	53,44	17,06	76,27	43,37
476/13/10 (C) (CQC)	1,38	4,43	52,45	17,55	73,36	42,96

TABLEAU 3.45 : Tableau des moments et des forces dans le voile

Analyse et interprétation des résultats

4.1 Introduction

Ce chapitre consiste à analyser les résultats du chapitre précédent pour mettre en évidence l'effet de la prise en compte de l'interaction sol fondation les paramètres étudiés qui sont les périodes propres, les déplacements totaux et inter étages, les forces sismiques à la base et aux différents niveaux, le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement et les efforts dans quelques éléments.

4.2 Effet de la prise en compte de l'interaction sur la période

Le cas	Valeur de periode $T_{(sec)}$
Encastrement	0.43
S1	0.48
S2	0.52
S3	0.59
S4	0.78

TABLEAU 4.1 : variation de la période fondamentale en fonction de la raideur du sol

4.2.1 Diagramme

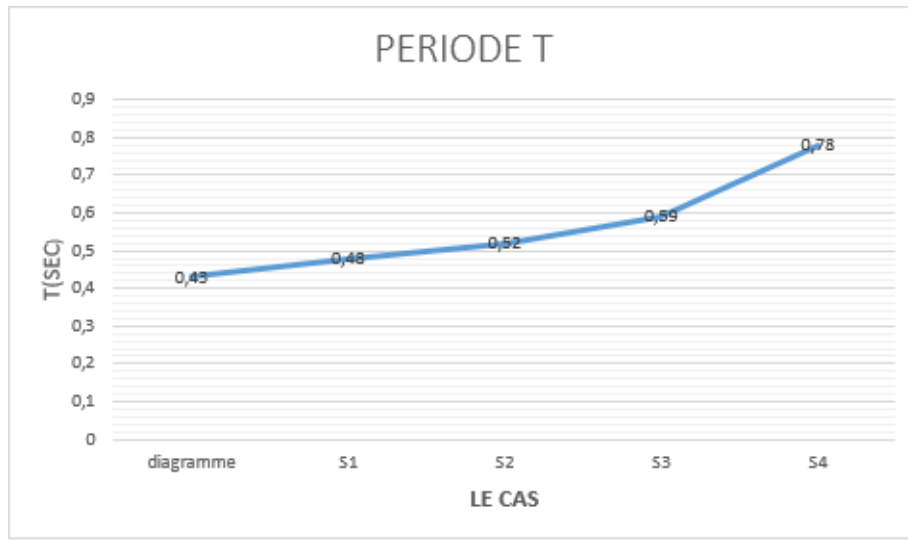


FIGURE 4.1 : variation de la période fondamentale en fonction de la raideur du sol

4.2.2 Discussion et interprétation

Le tableau 4.1 présente les valeurs de la période T en secondes pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.1 présente la variation de la période fondamentale en fonction des cas considérés :

1. Cas d'encastrement ; Le cas d'encastrement, correspond à une situation dans laquelle une structure est solidement fixée ou ancrée, sans possibilité de mouvement à sa base. Dans ce cas, la période T est la plus faible parmi toutes les configurations testées, avec une valeur de 0.43 secondes. Cela s'explique par le fait que l'encastrement augmente la rigidité de la structure, réduisant ainsi son temps de réponse aux vibrations.

2. Cas S1 ; Dans le cas S1, la structure est moins rigide comparée au cas d'encastrement, ce qui se traduit par une période légèrement plus élevée de 0.48 secondes. Ce changement peut être dû à une base moins fixée ou à des modifications apportées au système de ressorts et amortisseurs, permettant ainsi un plus grand mouvement de la structure sous l'effet de forces externes.

Ressorts : Ils représentent la rigidité de la structure. Plus les ressorts sont rigides, plus la structure est résistante aux déformations, ce qui diminue la période.

Amortisseurs : Ils dissipent l'énergie des vibrations, réduisant les oscillations. L'effet des amortisseurs sur la période dépend de leur configuration et de leur interaction avec les ressorts.

T augmentent progressivement des cas encastrement vers S4. Cela indique une diminution de la rigidité et/ou une modification des caractéristiques des amortisseurs, permettant des

mouvements plus libres et prolongés des structures, alors la structure devient plus flexible.

4.3 Effet de la prise en compte de l'interaction sur la force sismique

Le cas	La force sismique EX (Ton)	La force sismique EY (Ton)
Encastrement	137.21	126.97
S1	101.56	85.21
S2	119.99	101.41
S3	132.19	111.92
S4	138.51	121.67

TABLEAU 4.2 : variation de la force sismique dynamique en fonction de la raideur du sol

4.3.1 Diagramme

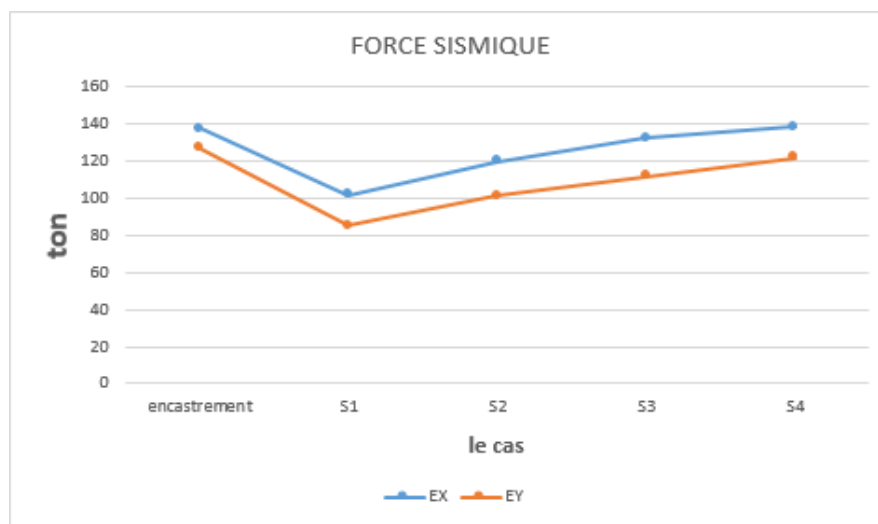


FIGURE 4.2 : variation de la force sismique dynamique en fonction de la raideur du sol

4.3.1.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.2 présente les valeurs de la force sismique dynamique en tonne pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.2 présente la variation de la force sismique dynamique en fonction des cas Considérés

1. Cas d'encastrement : Le cas d'encastrement montre des valeurs élevées de force sismique, avec 137.21 tonnes pour EX et 126.97 tonnes pour EY. Dans ce cas la structure est solidement fixée à sa base, ce qui entraîne une plus grande résistance aux mouvements sismiques. La rigidité accrue de la structure conduit à des forces sismiques plus élevées, car la structure doit absorber et résister à une plus grande partie de l'énergie sismique.

2. Cas S1 : Pour le cas S1, les valeurs de la force sismique diminuent par rapport au cas d'encastrement, avec 101.56 tonnes pour EX et 85.21 tonnes pour EY. Ce changement peut être attribué à une réduction de la rigidité de la structure, permettant ainsi plus de mouvement lors d'un événement sismique. En conséquence, la structure subit moins de forces sismiques directes car elle peut se déplacer davantage pour dissiper l'énergie.

3. Le graphique montre que les valeurs de la force sismique varient selon les cas. De manière générale, une structure plus rigide (comme dans le cas d'encastrement) subira des forces plus élevées, tandis qu'une structure moins rigide (comme dans les cas S1,S2,S3,S4) subira des forces réduites.

4.4 Effet de la prise en compte de l'interaction sur le déplacement total

4.4.1 Effet de la prise en compte de l'interaction sur le déplacement total aux force sismique δ_{ek}

Le cas	Déplacement sens x.x (cm)	Déplacement sens y.y (cm)
encastrement	0.9	1.1
S1	0.6	0.9
S2	0.8	1.1
S3	1.1	1.5
S4	1.7	2.5

TABLEAU 4.3 : variation de le deplacement total aux force sismique en fonction de la raideur du sol

4.4.2 Diagramme

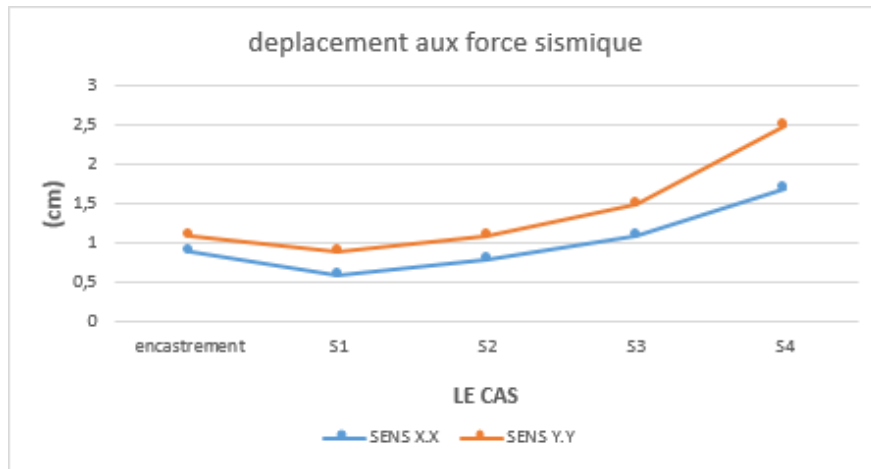


FIGURE 4.3 : variation de le deplacement total aux force sismique en fonction de la raideur du sol

4.4.2.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.3 présente les valeurs de la deplacement total aux force sismique en (cm) pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.3 présente la variation de deplacement total aux force sismique en fonction des cas considérés

1. Cas d'encastrement ; Le cas d'encastrement montre des valeurs de déplacement relativement faibles, avec environ 1.4 cm dans la direction X.X et 1.5 cm dans la direction Y.Y. Dans ce scénario, la structure est solidement fixée à sa base, ce qui limite les mouvements sous les forces sismiques. La rigidité accrue de la structure réduit les déplacements, car la structure résiste mieux aux forces appliquées.

2. cas S1 ; Pour le cas S1, les valeurs de déplacement diminuent légèrement par rapport au cas d'encastrement, avec environ 0.9 cm dans la direction X.X et 1.2 cm dans la direction Y.Y. Ce changement peut être attribué à une réduction de la rigidité de la structure, permettant ainsi plus de mouvement lors d'un événement sismique. La structure peut se déplacer davantage pour dissiper l'énergie, ce qui réduit les forces sismiques directes mais augmente les déplacements.

3. Le graphique montre que les valeurs de déplacement total augmentent progressivement des cas encastrement vers S4. Cela indique une diminution de la rigidité et/ou une modification des caractéristiques des amortisseurs, permettant des mouvements plus libres et prolongés des structures.

4.4.3 Effet de la prise en compte de l'interaction sur le déplacement total absolu δk

Le cas	Déplacement sens x.x (cm)	Déplacement sens y.y (cm)
encastrement	4.5	5.5
S1	3	4.5
S2	4	5.5
S3	5.5	7.5
S4	8.5	12.5

TABLEAU 4.4 : variation de déplacement absolu en fonction de la raideur du sol

4.4.4 Diagramme

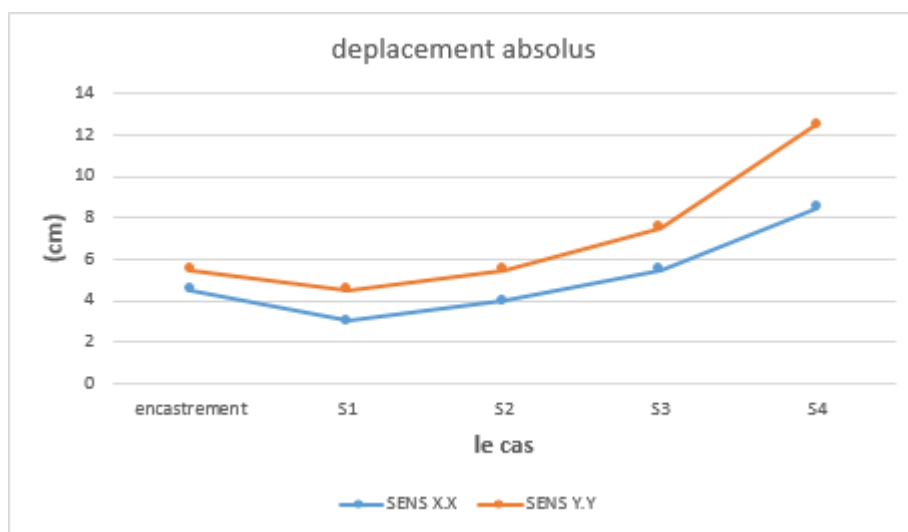


FIGURE 4.4 : variation de déplacement absolu en fonction de la raideur du sol

4.4.4.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.4 présente les valeurs de le déplacement absolu δk en (cm) pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.4 présente la variation de le déplacement absolu en fonction des cas considérés

1.Cas d'encastrement;Le cas d'encastrement montre des valeurs de déplacement absolu

total de 6 cm dans la direction X.X et 6.5 cm dans la direction Y.Y. Dans ce scénario, la structure est solidement fixée à sa base, ce qui limite les mouvements sous les forces sismiques. La rigidité accrue de la structure réduit les déplacements, car la structure résiste mieux aux forces appliquées.

2.Cas S1; Pour le cas S1, les valeurs de déplacement absolu total diminuent légèrement par rapport au cas d'encastrement, avec environ 3.8 cm dans la direction X.X et 4.5 cm dans la direction Y.Y. Ce changement peut être attribué à une réduction de la rigidité de la structure, permettant ainsi plus de mouvement lors d'un événement sismique. La stture peut se déplacer davantage pour dissiper l'énergie, ce qui réduit les forces sismiques directes mais augmente les déplacements.

3. Le graphique montre que les valeurs de déplacement absolu total augmentent progressivement des cas encastrement vers S4. Cela indique une diminution de la rigidité et/ou une modification des caractéristiques des amortisseurs, permettant des mouvements plus libres et prolongés des structures.

4.5 Effet de la prise en compte de l'interaction sur le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement

Le cas	<i>Fr</i> sens x.x	<i>Fr</i> sens y.y
Encastrement	8.574	3.44
S1	11.921	5.319
S2	10.183	4.542
S3	9.325	4.194
S4	9.210	4

TABLEAU 4.5 : variation de le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction de la raideur du sol

4.5.1 Diagramme

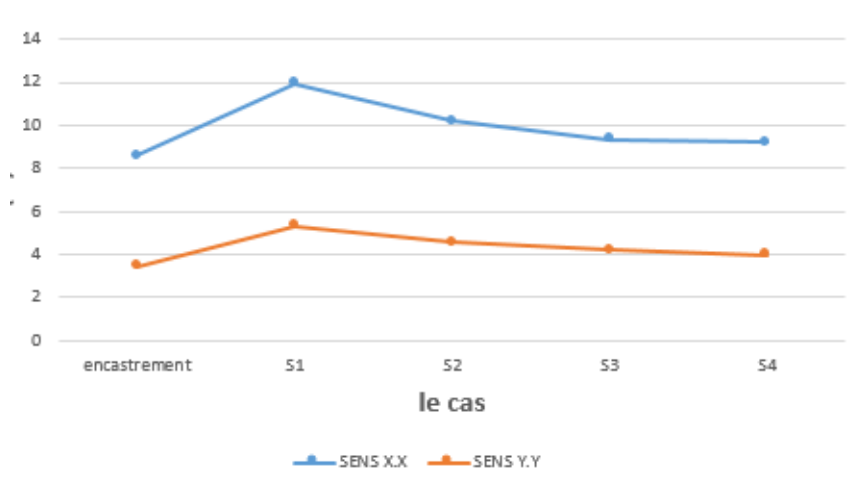


FIGURE 4.5 : variation de le facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction la raideur du sol

4.5.1.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.5 présente les valeurs facteur de sécurité pour le cas encastrement, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.5 présente la variation de la facteur de sécurité en fonction des cas considérés

1. Cas d'encastrement : Pour le cas d'encastrement, la valeur de renversement est d'environ 8 m dans la direction X.X et 4 m dans la direction Y.Y. Cela montre une structure relativement stable, avec une bonne résistance aux forces de renversement dues à la rigidité de l'encastrement.

2. Cas S1 : Pour le cas S1, la valeur de renversement augmente dans la direction X.X à environ 12 m, et légèrement à 5 m dans la direction Y.Y. Cela indique une structure moins stable dans la direction X.X, probablement en raison d'une diminution de la rigidité ou d'une augmentation de la flexibilité, ce qui la rend plus susceptible au renversement sous des forces sismiques.

3. Le graphique montre que les valeurs de renversement augmentent pour le cas S1 par rapport au cas d'encastrement, puis diminuent progressivement vers S4. Cela indique une modification des caractéristiques de rigidité et d'amortissement, affectant la stabilité de la structure.

4.6 Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts des éléments

4.6.1 Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts de poutre

Le cas	FX (T)	FZ (T)	MY (T.m)
encastrement	2.75	9.63	-7.23
S1	3.13	9.26	-6.26
S2	3.76	8.68	-4.77
S3	5.01	7.57	-1.85
S4	5.92	6.63	0.55

TABLEAU 4.6 : variation de les effort de poutre en fonction de la raideur du sol

4.6.2 Diagramme

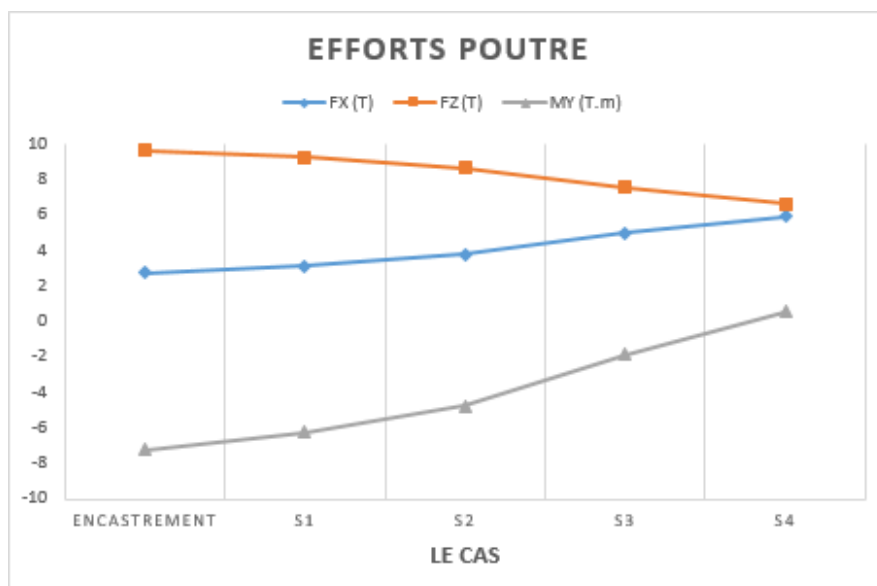


FIGURE 4.6 : variation de les effort de poutre en fonction de la raideur du sol

4.6.2.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.6 présente les valeurs des efforts de poutre M_Y en(tonne.m) et F_X F_Z en tonne pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.6 présente la variation de les efforts de poutre en fonction des cas considérés

1. Cas d'encastrement : Dans le cas d'encastrement, la structure est rigide et fixée à sa base.

Les valeurs des efforts sont

$$F_X=2.75T$$

$$F_Z=9.63 T$$

$$M_Y=-7.23T.m$$

La forte valeur de F_Z et le moment M_Y indiquent que la structure subit des forces verticales importantes et des moments de flexion significatifs. La rigidité élevée du système entraîne des forces et des moments notables dans les poutres.

2. cas S1 ; Dans le cas S1, les valeurs des efforts sont

$$F_X=3.13 T$$

$$F_Z=9.26 T$$

$$M_Y=-6.26 T$$

Comparé à l'encastrement, le cas S1 montre une légère augmentation de F_X et une diminution de F_Z et de M_Y Cela peut être dû à une réduction de la rigidité structurelle, permettant plus de mouvement et une redistribution des efforts dans les poutres.

3. Le diagramme montre que les valeurs d'efforts varient selon les cas S2 S3 S4

F_X augmente linéairement

F_Z diminue légèrement

M_Y devient moins négatif, indiquant une diminution des moments de flexion.

Ces variations indiquent que les modifications de rigidité et d'amortissement affectent la distribution des efforts dans les poutres.

4.6.3 Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts de poteau

Le cas	FX (T)	MY (T.m)
encastrement	58.78	-3.08
S1	42.57	-4.34
S2	33.76	-6.16
S3	23.91	-0.53
S4	21.17	0.18

TABLEAU 4.7 : variation de les efforts de poteau en fonction de la raideur du sol

4.6.4 Diagramme

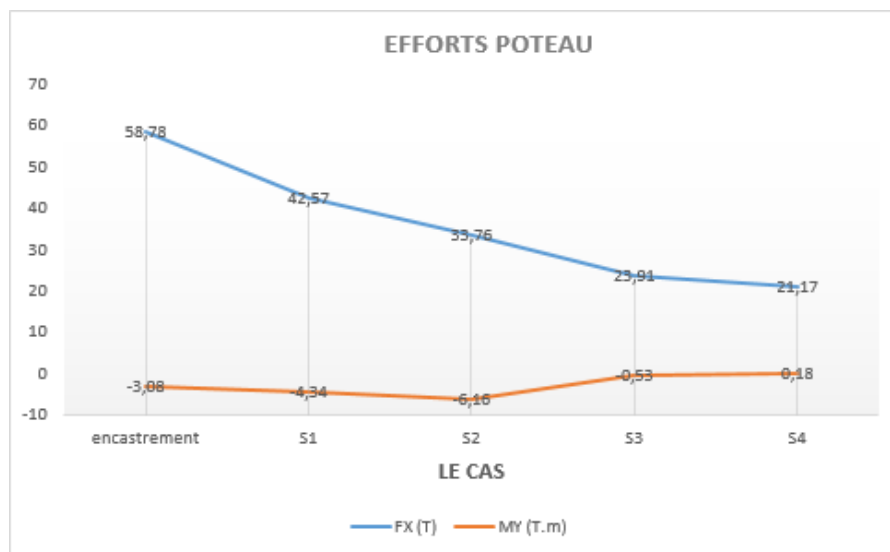


Figure 4.7 : variation de les efforts de poteau en fonction de la raideur du sol

4.6.4.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.7 présente les valeurs des efforts de poteau MY en (tonne.m) et FX en tonne pour le cas encastrement, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.7 présente la variation des efforts de poteau en fonction des cas considérés

1. Cas d'encastrement ; Dans le cas d'encastrement, la structure est rigide et fixée à sa base.

Les valeurs des efforts sont :

$$FX=58.28 \text{ T}$$

$$MY=-3.08 \text{ T.m}$$

La forte valeur de FX indique que la structure subit des forces horizontales importantes. Le moment MY négatif indique une tendance à la flexion dans la direction opposée des forces horizontales. La rigidité élevée du système entraîne des forces et des moments notables dans les poteaux.

2. CAS S1 ; Dans le cas S1, les valeurs des efforts sont

$$FX= 42.57 \text{ T}$$

$$MY = -4.34 \text{ T.m}$$

Comparé à l'encastrement, le cas S1 montre une diminution de FX et une légère augmentation de MY elle peut être dû à une réduction de la rigidité structurelle, permettant plus de mouvement et une redistribution des efforts dans les poteaux. La réduction de FX indique une diminution des forces horizontales appliquées sur le poteau, tandis que l'augmentation de MY montre une légère augmentation des moments de flexion.

3. Le diagramme montre que les valeurs d'efforts varient selon les cas

FX diminue de manière significative entre l'encastrement et les autres cas.

MY reste relativement constant, avec une légère augmentation dans les cas intermédiaires.

4.6.5 Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts tranchant (T) de voile

Le cas	TXX (T/m ²)	TYY (T/m ²)
encastrement	3.89	14.58
S1	61.78	25.73
S2	79.97	42.21
S3	96.12	58.72
S4	107.30	75.24

TABEAU 4.8 : variation des efforts tranchant de voile en fonction de la raideur du sol

4.6.6 Diagramme

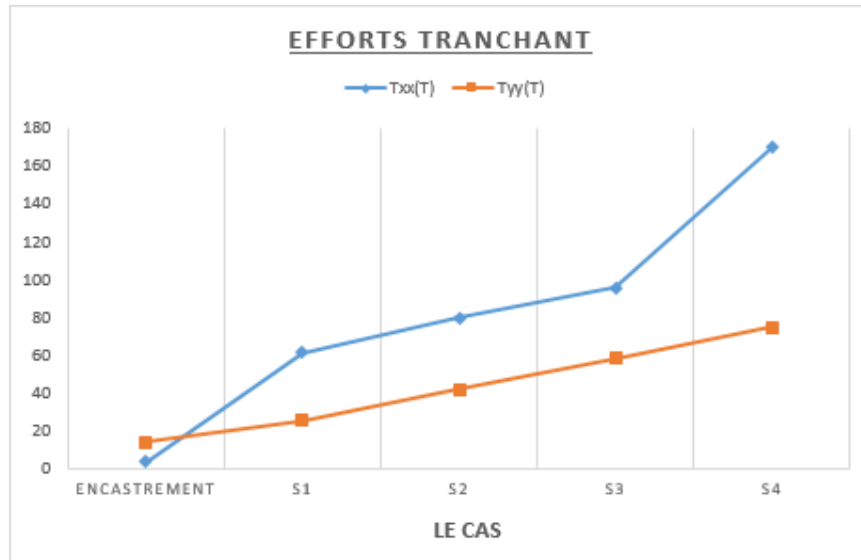


FIGURE 4.8 : variation des efforts tranchant de voile en fonction de la raideur du sol

4.6.6.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.8 présente les valeurs des efforts tranchant de voile T_{xx} et T_{yy} en T/m^2 pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.8 présente la variation des efforts tranchant de voile en fonction des cas considérés

Pour le cas de l'encastrement, les efforts tranchants $T_{xx}(T)$ et $T_{yy}(T)$ sont les plus faibles parmi les cas étudiés, ce qui peut être attribué à la contrainte rigide à la base qui répartit efficacement les charges sur l'ensemble de la structure. 2.CAS S1 ; Le cas S1 représente une situation où il y a une certaine flexibilité introduite dans la base de la structure, probablement en utilisant un ressort ou un amortisseur.

Les ressorts et amortisseurs sont utilisés pour absorber et dissiper l'énergie des charges et vibrations, ce qui permet à la structure de se déformer légèrement et de réduire les contraintes internes. Pour S1, on observe une augmentation notable des efforts tranchants $T_{xx}(T)$ et $T_{yy}(T)$ par rapport à l'encastrement, ce qui indique une plus grande déformation et donc plus de charge transférée à travers la structure.

On observe que les valeurs de $T_{xx}(T)$ et $T_{yy}(T)$ augmentent avec la flexibilité accrue de la base, ce qui montre l'impact des ressorts et amortisseurs sur les efforts tranchants dans la structure.

4.6.7 Effet de la prise en compte de l'interaction sur les efforts normal (N) de voile :

Le cas	NXX (T/m)	NYY (T/m)
encastrement	16.29	86.44
S1	41.72	61.53
S2	87.19	46.09
S3	140.67	34.09
S4	194.20	42.83

TABLEAU 4.9 : variation de les efforts normal de voile en fonction de la raideur du sol

4.6.8 Diagramme

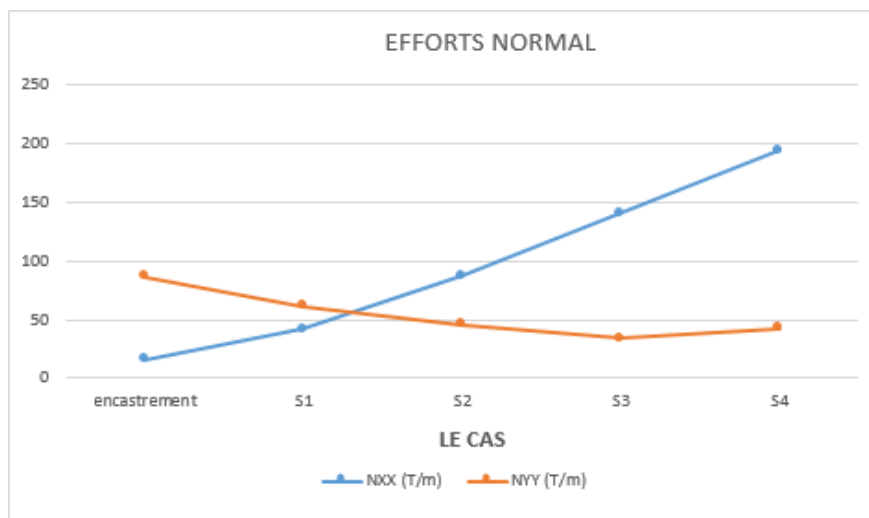


FIGURE 4.9 : variation de les efforts normal de voile en fonction de la raideur du sol

4.6.8.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.9 présente les valeurs de les efforts normal de voile NXX et NYY en T/m pour le cas encastrement, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4. présente la variation de les efforts normal de voile NXX et NYY en fonction des cas considérés

Cas Encastrement : Dans le cas d'un encastrement, la base de la structure est entièrement fixée, ne permettant aucun déplacement ou rotation. Cela crée une condition de bord rigide où la structure résiste fortement aux charges appliquées NXX(T/m) 16.29

$NYY(T/m) : 86.44$

Cela montre que la composante $NYY(T/m)$ est beaucoup plus élevée que $NXX(T/m)$, ce qui peut indiquer une distribution inégale des charges ou des propriétés de matériau favorisant une plus grande résistance dans une direction.

1. Cas S1 ; dans le cas S1, des ressorts et amortisseurs sont introduits, ce qui permet une certaine flexibilité à la base de la structure. Les ressorts absorbent et les amortisseurs dissipent les charges et vibrations, permettant à la structure de se déformer légèrement et de réduire les contraintes internes, Pour le cas S1, les valeurs sont :

$NXX(T/m) : 41.72$

$NYY(T/m) : 61.53$

Comparé à l'encastrement, $NXX(T/m)$ a augmenté de manière significative, tandis que $NYY(T/m)$ a diminué. Cela peut indiquer que la flexibilité introduite permet une redistribution des charges, réduisant les contraintes dans la direction $NYY(T/m)$ et augmentant celles dans la direction $NXX(T/m)$.

On observe que les valeurs de $NXX(T/m)$ augmentent avec l'introduction et l'augmentation de la flexibilité de la base, alors que les valeurs de $NYY(T/m)$ diminuent puis augmentent légèrement. Cela illustre comment les ressorts et amortisseurs peuvent redistribuer les charges dans la structure

4.6.9 Effet de la prise en compte de l'interaction sur le moment M_{xx} et M_{yy} de voile

Le cas	$M_{XX} (T.m/m)$	$M_{YY} (T.m/m)$
encastrement	0.35	0.72
S1	0.80	2.25
S2	1.21	3.44
S3	1.71	4.79
S4	2.65	7.10

TABLEAU 4.10 : variation de le moment de voile en fonction de la raideur du sol

4.6.10 Diagramme

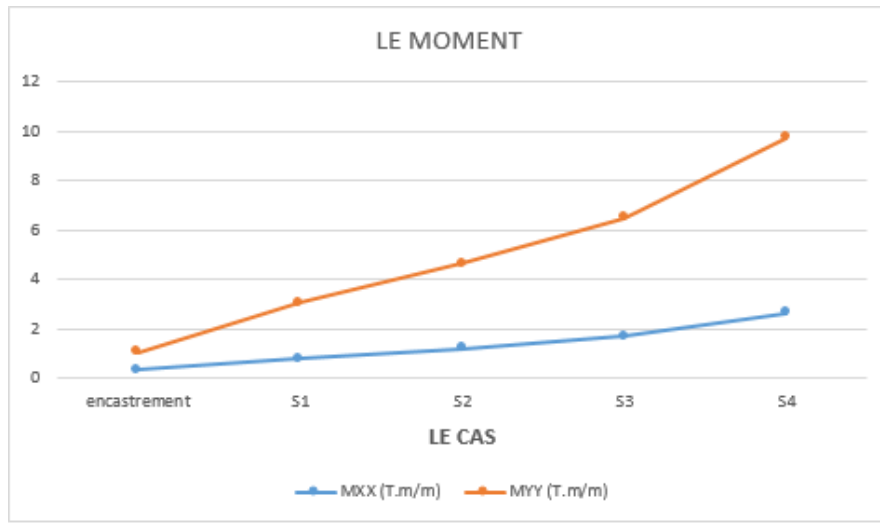


Figure 4.10 : variation de le moment de voile en fonction de la raideur du sol

4.6.10.1 Discussion et interprétation

Le tableau 4.10 présente les valeurs de Moment de voile en **T.m/m** pour le cas encastéré, et en tenant compte de l'interaction sol structures pour les sites S1, S2, S3, et S4.

La figure 4.10 présente la variation de le Moment de voile en fonction des cas considérés

- 1.Cas d'Encastrement Les moments générés MXX et MYY ont relativement faibles car la structure est bien supportée et les déformations sont minimales

Les valeurs initiales de MXX et MYY sont faibles, comme indiqué sur le graphique.

- 2.CAS S1 ;Par rapport à l'encastrement, les moments MXX et MYY augmentent légèrement Cela est dû au fait que les ressorts permettent une certaine flexibilité, entraînant des déformations et donc des moments plus élevés.

La courbe pour MYY (ligne orange) montre une augmentation plus significative par rapport à MXX (ligne bleue), indiquant que la charge ou les conditions de support influencent davantage le moment dans cette direction.

S2, S3 et S4 : Ces cas suivent une tendance croissante pour les moments MXX et MYY indiquant des conditions de charge ou de support de plus en plus flexibles ou moins contraignantes.

L'augmentation continue des moments montre que la structure devient de plus en plus sujette à des déformations sous les charges appliquées.

CONCLUSIONS GENERALES



L'interaction sol-structure est un aspect crucial à prendre en compte lors de la conception d'un bâtiment, notamment dans le cas d'une semelle isolée. Cette interaction se réfère à l'influence mutuelle entre le sol sur lequel repose la fondation et la structure du bâtiment. Elle peut avoir un impact significatif sur la réponse dynamique du bâtiment lors d'un séisme, La recherche bibliographique menée lors de l'élaboration de ce mémoire nous a permis de résumer les principaux résultats des recherches effectuées sur ce phénomène dont voici les conclusions importantes : L'interaction sol-structure peut réduire la fréquence fondamentale du bâtiment de manière significative, Cela signifie que la structure du bâtiment peut vibrer à des fréquences plus basses en raison de l'interaction avec le sol, ce qui peut affecter sa réponse sismique. L'interaction sol-structure peut également influencer l'amortissement du sol, ce qui peut avoir un impact sur la dissipation de l'énergie sismique.

La modélisation et l'analyse faite dans cette étude confirme les résultats tirés de l'étude bibliographique notamment :

L'interaction augmente les périodes propres et les déplacements au sommet de la structure et diminue les efforts sismiques à la base et aux différents niveaux

L'interaction sol structure augmente la dissipation de l'énergie sismique en influant l'amortissement.

Néanmoins on s'attendait, en supposant l'absence de toute erreur de modélisation, à ce que la variation des résultats garde une certaine monotonie allant de l'encastrement au cas S4 mais cette monotonie n'est pas constatée dans tous les résultats ce qui nécessite la multiplication de telles simulations pour une interprétation meilleure.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



[https://www.academia.edu/73675087/Influence de l interaction sol structure sur le comportement sismique des bâtiments analyse dans les domaines linéaire et non linéaire](https://www.academia.edu/73675087/Influence_de_l_interaction_sol_structure_sur_le_comportement_sismique_des_batiments_analyse_dans_les_domaines_lineaire_et_non_lineaire)
<https://www.terrasol.fr/en/events/event/prise-en-compte-des-effets-dinteraction-sol-structure-dans-la-conception-des-fondations-superficielles-et-profondes>
https://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Raideur_dun_ressort/1100335
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Raideur_\(mécanique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Raideur_(m%C3%A9canique))
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2023.1120351/full>
[https://www.amazon.com/Modélisation-linteraction-dynamique-sol-structure-French/dp/6139512654](https://www.amazon.com/Mod%C3%A9lisation-linteraction-dynamique-sol-structure-French/dp/6139512654)
<https://gem.ec-nantes.fr/utr-geomec/interactions-sols-structures-et-ouvrages/>
<https://myprepa.fr/blog/grands-classiques-de-sup-ressort-equivalent/>
<https://boumey-ing.com/elements-sismiques-primaires-secondaires/>
<https://www.abc-maconnerie.com/technique/conseil/les-planchers/dalle-pleine.html>

