

Calcul de Structures Assisté par Ordinateur



Dr BELEBCHOUCE Cherif, Université des
frères Mentouri- Constantine 1.

Table des matières



Objectifs	4
I - PRE-REQUIS	5
II - PÉDAGOGIE	6
III - INTRODUCTION	7
IV - CHAPITRE .I. INTRODUCTION GÉNÉRALE ET DÉFINITIONS	8
1. Définition du Calcul de Structures Assisté par Ordinateur "C.S.A.O."	8
2. Composants d'un logiciel C.S.A.O.	9
3. Description de l'outil CAO utilisé	9
4. Description de l'ouvrage étudié	9
5. Étapes de la modélisation	11
V - CHAPITRE .II. MODÉLISATION DE LA STRUCTURE	13
1. Définition de systèmes de coordonnées et de la géométrie de la structure	13
2. Définition et affectation des paramètres du modèle	16
2.1. Définition des matériaux	16
2.2. Définition des propriétés de la section de l'élément barre	17
2.3. Définition des propriétés de l'élément plaque	18
2.4. Conception du modèle de la structure	20
3. Exercice	30
VI - CHAPITRE .III. ATTRIBUTION DES CHARGES STATIQUES AUX ÉLÉMENTS DE DE LA STRUCTURE	32
1. Définition des cas de charges statiques (Permanent et d'Exploitation)	32
2. Attribution des charges linéaires	33
3. Attribution des charges surfaciques aux éléments plaques	34
3.1. Attribution des charges d'exploitation aux planchers (étages courants et étage de terrasse)	34
3.2. Attribution des charges d'exploitation aux balcons	35
3.3. Attribution des charges d'exploitation au plancher de terrasse	37
4. Combinaisons de charges	38
5. Exercice	38

**VII - CHAPITRE .IV. ANALYSES STATIQUE ET DYNAMIQUE DE
STRUCTURES 39**

1. Analyse statique linéaire 39

2. Méthode statique équivalente 40

 2.1. Calcul de la force sismique totale 41

 2.2. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur 41

 2.3. Définition et attribution des forces statiques fictives 42

3. Analyse dynamique de la structure 44

 3.1. Analyse modale 44

 3.2. Analyse spectrale 52

4. Exercice 55

**VIII - CHAPITRE .V. VISUALISATION ET EXPLOITATION DES
RÉSULTATS DU CALCUL 56**

1. Tableaux de résultats 56

 1.1. Déplacements du centre de masse 56

 1.2. Réactions d'appuis 58

 1.3. Résultats de l'analyse modale spectrale 59

 1.4. Résultats des éléments barres 61

 1.5. Résultats des éléments plaques 63

2. Présentation graphique des résultats 65

 2.1. Diagrammes des efforts internes 65

 2.2. Déformée de la structure 66

 2.3. Cartographie sur les plaques 67

3. Exercice 68

IX - Exercice 69

Abréviations 71

Bibliographie 72

Objectifs



L'objectif principal de ce cours est d'apprendre aux étudiants à maîtriser les outils et commandes de base nécessaires pour le calcul automatique des structures de bâtiments, grâce à l'apprentissage des fonctions essentielles du logiciel ETABS.

A la fin de cette formation, l'étudiant devrait être capable de :

- Naviguer dans l'interface utilisateur d'ETABS de manière autonome ;
- Utiliser les fonctions fondamentales du logiciel ETABS ;
- Utiliser les outils de dessin pour la conception des structures ;
- Appliquer les charges statiques et sismiques tout en respectant les règlements en vigueur ;
- Évaluer le comportement statique et dynamique de bâtiments multi-étagés en béton armé.



PRE-REQUIS



Une bonne maîtrise de l'environnement Windows et du dessin technique sont un atout, mais il n'est pas nécessaire d'avoir de connaissances en ETABS au préalable.

PÉDAGOGIE



Apports théoriques avec support de cours étayés par de nombreux exercices pratiques et une évaluation des acquis en fin de formation.

Ce cours est approprié pour toutes les spécialités du domaine de génie civil.

Il n'est pas prévu dans le cadre de cette formation de s'étendre sur les techniques de modélisation des ouvrages spéciaux (silos, les structures métalliques ... etc.), cependant une approche sera envisagée si le temps nous le permet.

INTRODUCTION



A l'heure actuelle, on dispose de nombreux programmes basés sur la méthode des éléments finis (MEF) permettant le calcul automatique de structures diverses. L'ingénieur pourrait donc ignorer les principes de la MEF, il lui suffirait de savoir utiliser les programmes de calcul et de connaître les règlements en vigueur. Seulement, cet utilisateur serait incapable de se rendre compte de la correction des résultats donnés par l'ordinateur.

Il est donc indispensable que tout ingénieur connaisse les bases de la MEF, et comprenne également le processus de la phase de solution. Cette compétence ne peut être acquise que par l'étude analytique du concept de la MEF et la connaissance des techniques en rapport avec l'utilisation de ces outils de calcul.

Cette formation se fixe comme objectif la présentation des notions fondamentales du calcul automatique d'un point de vue essentiellement physique tout en considérant le code de calcul dans son efficacité opératoire, c'est à dire en tant qu'outil destiné à l'utilisateur professionnel.

Ce dernier pourra alors en tenant compte des considérations précédentes, formuler son problème de calcul de structure et contrôler sans effort les résultats fournis par l'ordinateur.

La MEF est une généralisation de la méthode de déformation pour les cas de structures ayant des éléments barres, plans ou volumineux. La méthode considère le milieu solide, liquide ou gazeux constituant la structure comme un assemblage discret d'éléments finis. Ces derniers sont connectés entre eux par des nœuds situés sur les limites de ces éléments. Les structures réelles sont définies par un nombre infini de nœuds.

La structure étant ainsi subdivisée, elle peut être analysée d'une manière similaire à celle utilisée dans la théorie des poutres. Pour chaque type d'éléments, une fonction de déformation (fonction de forme) de forme polynomiale qui détermine la relation entre la déformation et la force nodale peut être dérivée sur la base de principe de l'énergie minimale, cette relation est connue sous le nom de la matrice de rigidité de l'élément. Un système d'équation algébrique linéaire peut être établi en imposant l'équilibre de chaque nœud, tout en considérant comme inconnues les déformations aux niveaux des nœuds. La solution consiste donc à déterminer ces déformations, en suite les forces et les contraintes seront calculées en utilisant les matrices de rigidité de chaque élément.

CHAPITRE .I. INTRODUCTION GÉNÉRALE ET DÉFINITIONS

IV

Définition du Calcul de Structures Assisté par Ordinateur "C.S.A.O."	8
Composants d'un logiciel C.S.A.O.	9
Description de l'outil CAO utilisé	9
Description de l'ouvrage étudié	9
Étapes de la modélisation	11

Ce chapitre présente le contexte et le domaine d'intérêt de cette formation. Nous consacrons la première partie de ce chapitre à la présentation de la technique de Calcul de Structures Assisté par Ordinateur (C.S.A.O.) où nous abordons les enjeux et les avantages qui sont attendus lors de son utilisation. Dans un second temps, nous soulignons les différentes étapes employées dans la modélisation des structures par CSI ETABS. Finalement, nous nous focalisons sur la présentation du problème traité et ses différentes propriétés afin de le concevoir.

1. Définition du Calcul de Structures Assisté par Ordinateur "C.S.A.O."

La technologie de la Conception Assistée par Ordinateur C.A.O. a pris naissance au sein des grands programmes militaires américains dans les années 1950. Ensuite, elle a pénétré le domaine de l'aéronautique civile, l'automobile, l'industrie informatique, l'architecture et le génie civil.

Nous pouvons distinguer plusieurs générations de systèmes de C.A.O. qui peuvent être classifiées, d'un point de vue historique, de la manière suivante :

1. Le Dessin Assisté par Ordinateur (D.A.O.): les objets sont représentés par la projection de leurs arêtes sur un plan bidimensionnel 2D ;
2. La représentation dite fil de fer (*Wireframe*): les objets sont représentés par ses arêtes mais dans l'espace tridimensionnel 3D ;
3. La représentation des objets par leurs frontières surfaciques ;
4. La représentation par l'espace tridimensionnel occupé par l'objet, cette génération est appelée l'arborescence de construction.



Définition

Nous pouvons définir le Calcul de Structures Assisté par Ordinateur (C.S.A.O.) par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs dans la conception et la mise au point d'un produit.

2. Composants d'un logiciel C.S.A.O.

Un logiciel de C.S.A.O. se compose généralement de quatre parties majeures qui peuvent être organisées comme suit :

- **Le modeleur géométrique** : il représente "la planche à dessin". Nous trouvons dans cette partie les composants géométriques essentiels qui permettent le dessin de la géométrie de la structure: points, droites (poutres et poteaux), éléments plans (planchers et voiles) ... etc. Il intègre également les composants topologiques: orientations, intersections, unions ... etc ;
- **L'outil de visualisation** : il représente l'espace de dessin ;
- **Un certain nombre d'applications** : nous retrouvons les différents types de systèmes de chargement (concentrés, surfaciques, volumiques), les fonctions qui permettent l'introduction des systèmes de chargement dynamique (spectre de réponse), les conditions aux limites (diaphragme et appuis), l'exécution du problème ... etc ;
- **Un contrôleur** : il gère et manipule les intersections entre les trois outils cités précédemment. Ce composant permet la détection des erreurs de modélisation des structures.

3. Description de l'outil CAO utilisé

Dans le cadre de notre travail, nous utilisons CSI ETABS 9.7.0 pour la modélisation et le calcul automatique des structures. Le programme ETABS (*Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems*) est un logiciel leader en ingénierie des structures, créé en 1984 et édité par Computers & Structures Inc.

Ce logiciel, qui en est à sa quinzième édition, est fréquemment utilisé par les ingénieurs civils pour le calcul tridimensionnel par éléments finis de bâtiments et des ouvrages de génie civil.

Les principales raisons d'utilisation de ce programme comme un outil de calcul de structures, est qu'il est utilisé pour analyser les structures en béton armé, charpente métallique ou autres matériaux de construction et sous n'importe quelle forme de chargement (ponctuel, linéaire, surfacique... etc.). Le logiciel traite plusieurs types de chargement statique (poids propre de la structure et charges d'exploitation) ou dynamique (séisme). De plus, il dispose de plusieurs réglages pour les différentes vérifications : Eurocode, règlements américains et autres.

Le post-processeur graphique du logiciel facilite considérablement :

1. La modélisation des géométries complexes de structures (définition de la géométrie, conditions aux limites, chargements de la structure,... etc.) de façon totalement graphique, numérique ou combinée, en utilisant les innombrables outils disponibles ;
2. L'interprétation et l'exploitation des résultats se clarifient par la possibilité de visualiser : la déformée de la structures, les diagrammes des efforts et courbes enveloppes, les champs de contraintes, les modes propres de vibration, le centre de masse et le centre de rigidité, les déplacements inter-étages, la résultante des forces pour des éléments spécifiés,... etc ;
3. La mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs sur la base de différents règlements.

Les fichiers produits par ETABS portent l'extension " **EDB** ". Le logiciel n'est pas disponible en français et il ne donne pas les schémas de coffrage et ferrailage pour les éléments en béton armé.

4. Description de l'ouvrage étudié

Notre projet consiste à étudier un bâtiment à usage d'habitation, composé d'un **Rez-De-Chaussée et 5 étages identiques avec une terrasse inaccessible** entourée par un acrotère en béton armé de 60 cm de hauteur. Cet immeuble sera implanté à la wilaya de Constantine, cette région est classée comme une zone de moyenne sismicité (**zone II.a**) selon la classification des zones établie par le règlement parasismique Algérien 99 version 2003. Le bâtiment étudié présente les caractéristiques suivantes :

- Selon la classification des ouvrages suivant leur importance d'après le règlement parasismique Algérien, le groupe d'usage est le "**groupe 2**" ;

- Selon la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment, le coefficient d'accélération de zone "A" est égal à **0.15** ;
- Le **contreventement** de la structure est assuré par des **voiles porteurs**, d'où la valeur du coefficient de comportement "**R**" est égale à **3.5** ;
- La structure étudiée **présente une régularité en plan et en élévation** ;
- La configuration du bâtiment étudié **ne satisfait pas les conditions minimales sur les files de contreventement** et la **redondance en plan** ;
- Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre seront réalisés par l'entreprise pour **contrôler la qualité des matériaux** utilisés ;
- Une mission de suivi sur chantier sera effectuée pour **contrôler la qualité d'exécution des travaux** ;
- Selon les critères de qualité, le facteur de qualité **Q** vaut **1,1** ;
- Selon l'étude géotechnique, le sol est classé dans la catégorie **S3 (sol meuble)** ;
- Le pourcentage d'amortissement critique ζ est égal à **7%** ;
- L'acier utilisé est de nuance **Fe E 400** ;
- Le béton utilisé est le **B25** ;
- Les planchers utilisés sont des **planchers en corps creux (16+4) cm**.
- Les balcons sont des dalles pleines de **15 cm d'épaisseur** ;
- La section des **poteaux (POT30x45)** est égale à **30x45 cm²** ;
- Les **voiles** ont une épaisseur de **20 cm** et de **longueur de 2m** ;
- Les **poutres porteuses (PP30x45)** agissent dans la **direction x-x** et ont une section de **30x45 cm²** ;
- Les **poutres de chaînages (PCH30x40)** agissent dans la **direction y-y** et ont une section de **30x40 cm²** ;
- Selon le Document Technique Réglementaire **DTR BC 2.2 charges permanentes et charges d'exploitation**, la charge d'exploitation est égale à **0.15 t/m²** pour l'étage courant, **0.1 t/m²** pour le plancher de terrasse et **0,35 t/m²** pour les balcons ;
- L'acrotère est considéré comme une charge permanente de **0.1 t/ml** ;
- Les dimensions en plan et en élévation du bâtiment étudié sont illustrées par les figures I.1 et I.2.

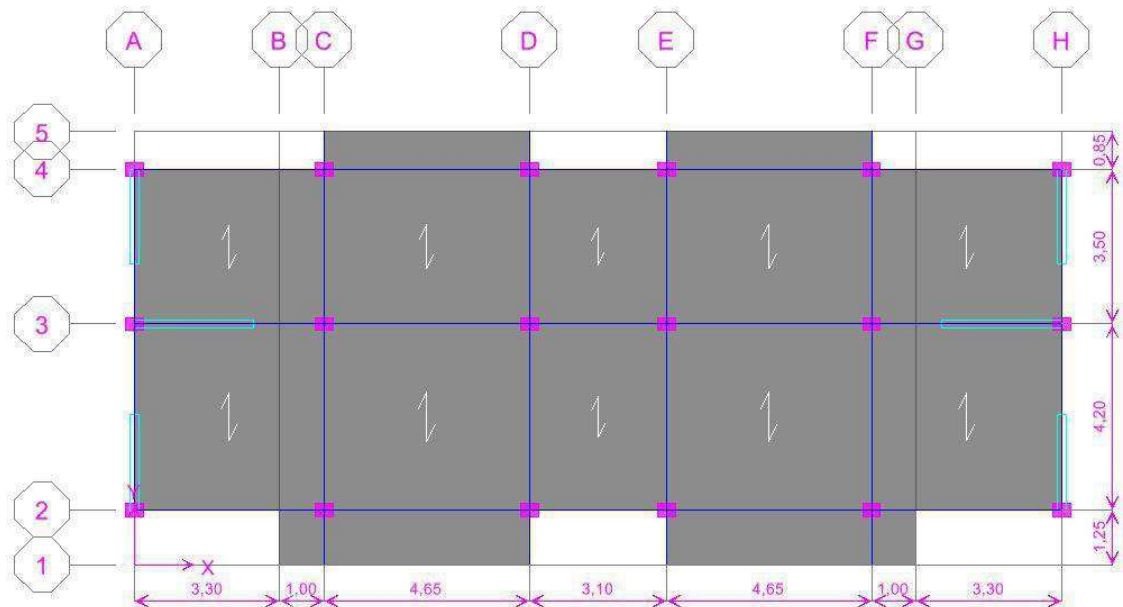


Figure I.1. Vue en plan du bâtiment.

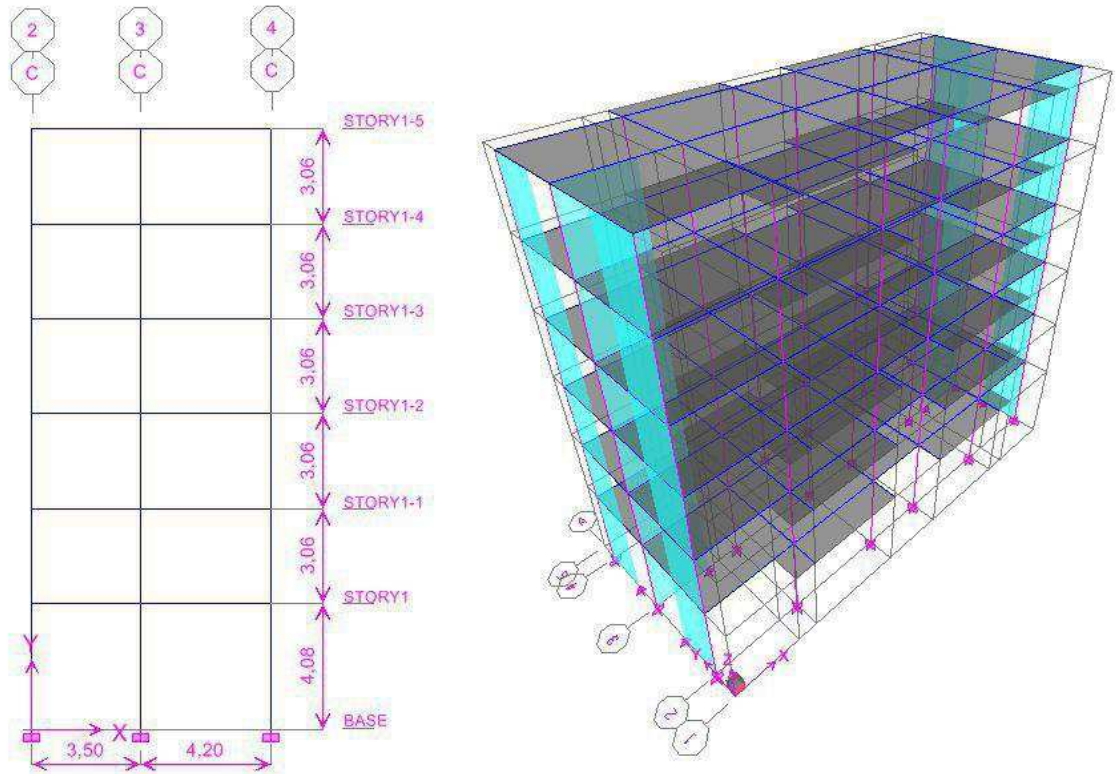


Figure I.2. Vues en élévation et en 3D du bâtiment.

5. Étapes de la modélisation

La modélisation sur ETABS consiste en les étapes suivantes :

1. Initialiser le modèle (unités, grilles, niveaux) ;
2. Définir la géométrie du modèle ;
3. Définir les paramètres de l'analyse (matériaux, sections ... etc) et les assigner aux éléments ;
4. Spécifier les conditions aux limites (appuis et les diaphragmes) ;
5. Définir les cas de charge (Statique et dynamique) et les appliquer aux éléments ;
6. Spécifier les options d'analyse (options de l'analyse modale) ;
7. Exécuter l'analyse et apporter des corrections au modèle s'il y a lieu ;
8. Exploiter les résultats d'analyse (visualisation graphique, listes, exportation des résultats ... etc.)

L'organigramme illustré sur la figure I.3 présente les différentes opérations et contrôles à effectuer dans ETABS pour mener correctement le calcul d'une structure suivant le Règlement Parasismique Algériens 99 Version 2003.



Figure I.3. Organigramme récapitulatif des étapes de modélisation.

CHAPITRE .II. MODÉLISATION DE LA STRUCTURE

V

Définition de systèmes de coordonnées et de la géométrie de la structure

13

Définition et affectation des paramètres du modèle

16

Exercice

30

1. Définition de systèmes de coordonnées et de la géométrie de la structure

La définition d'un modèle de structure en ETABS se fait par l'utilisation de deux types de systèmes de coordonnées. Le système global de coordonnées est un système arbitraire dans l'espace, il est utilisé pour définir les coordonnées des nœuds et pour donner la direction des charges. Le système local de coordonnées est associé à chaque élément et est utilisé pour la spécification de charges locales, pour l'interprétation des efforts et par conséquent les résultats.

Dans la plupart des cas, le modèle de structure est défini par l'intermédiaire d'un réseau plan de référence, dont les axes s'utilisent comme repère pour le positionnement des membrures. Pour la définition verticale de la structure, on utilise les données concernant les niveaux.

Pour la création d'un réseau plan, il faut tout d'abord Démarrer le programme ETABS et Commencer un nouveau modèle en cliquant (*File >New model...*) et Choisir les paramètres par défaut (*Default.edb*). La figure II.1 décrit les étapes précédentes.

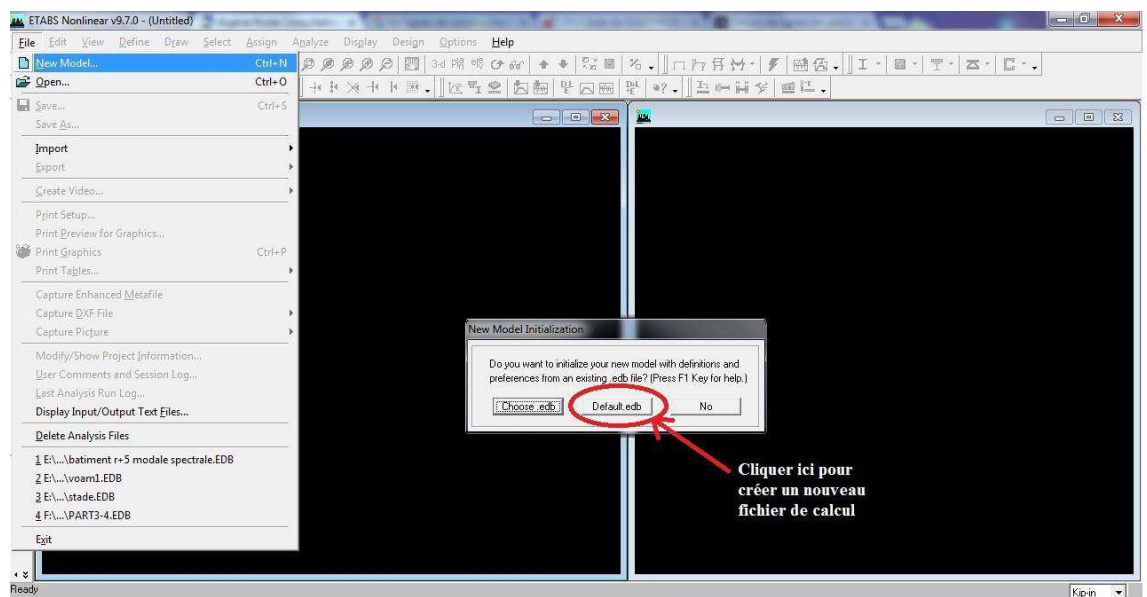


Figure II.1. Création d'un nouveau modèle de structure.

Les étapes précédentes conduisent à la création automatique d'un modèle "de longueur de travées régulières", c.à.d. même si les travées de notre bâtiment ne sont pas régulières, les modifications seront effectuées plus tard. La figure II.2 présente les données de notre modèle.

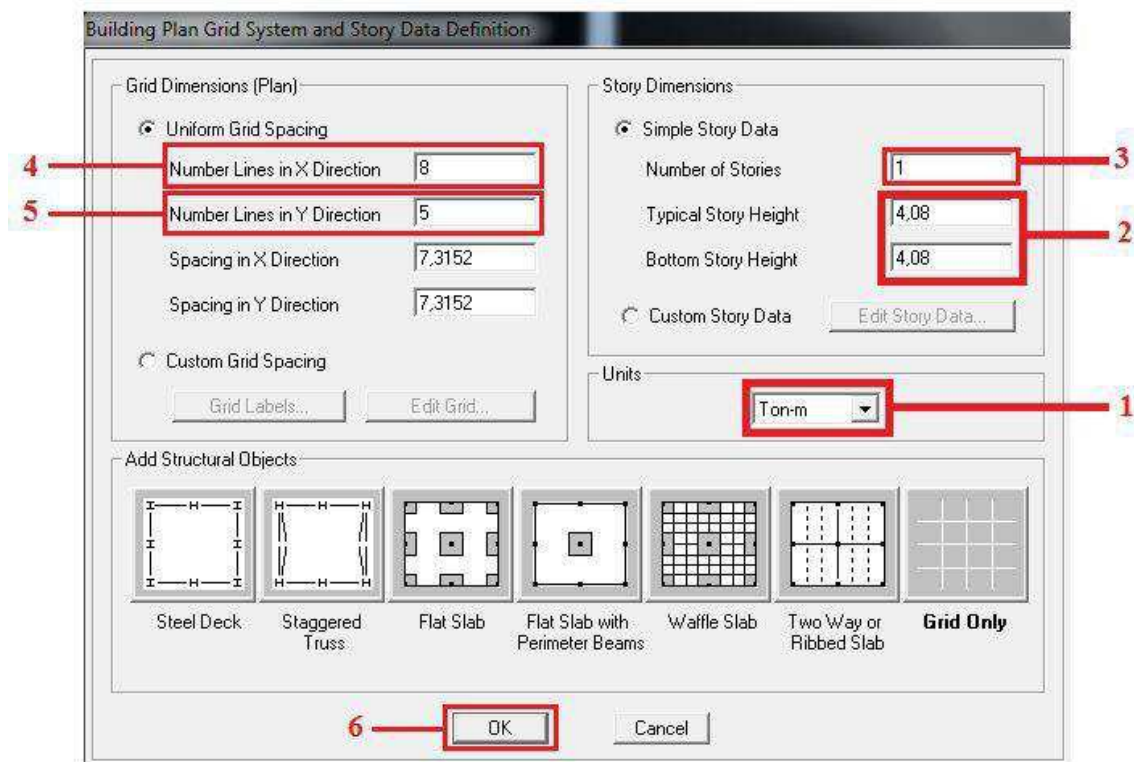


Figure II.2. Définition du réseau plan de référence, des données concernant les niveaux et du type de structure en ETABS.

La figure II.2 résume les étapes qui mènent à la création de la grille horizontale :

1. Choisir le système d'unités pour la saisie des données dans ETABS, dans notre cas l'unité utilisée est " tonne - mètre " ;
2. Saisir la hauteur du premier étage ;
3. Saisir le nombre des étages, pour faciliter la conception de notre modèle de structure on va insérer que le premier étage puis nous insérons les autres étages de la structure, en gardant les mêmes caractéristiques géométriques et même chargements du premier étage ;
4. Insérer le nombre de ligne de référence dans la direction x-x (Voir figure I.1, 8 lignes de A --> H) ;
5. Insérer le nombre de ligne de référence dans la direction y-y (Voir figure I.1, 5 lignes de 1 --> 5) ;
6. Cliquer sur OK.

Lorsque les axes du réseau plan de référence ont des distances variables sur chaque direction, on utilise l'option suivante (*Edit >Edit Grid Data >Edit Grid*) ou on clique sur le bouton droit de la souris dans l'espace de dessin puis on clique sur (*Bouton droit de la souris >Edit Grid Data >Modify/Show System ...*) pour modifier les distances entre les axes du réseau plan de référence (Voir Figure II.3).

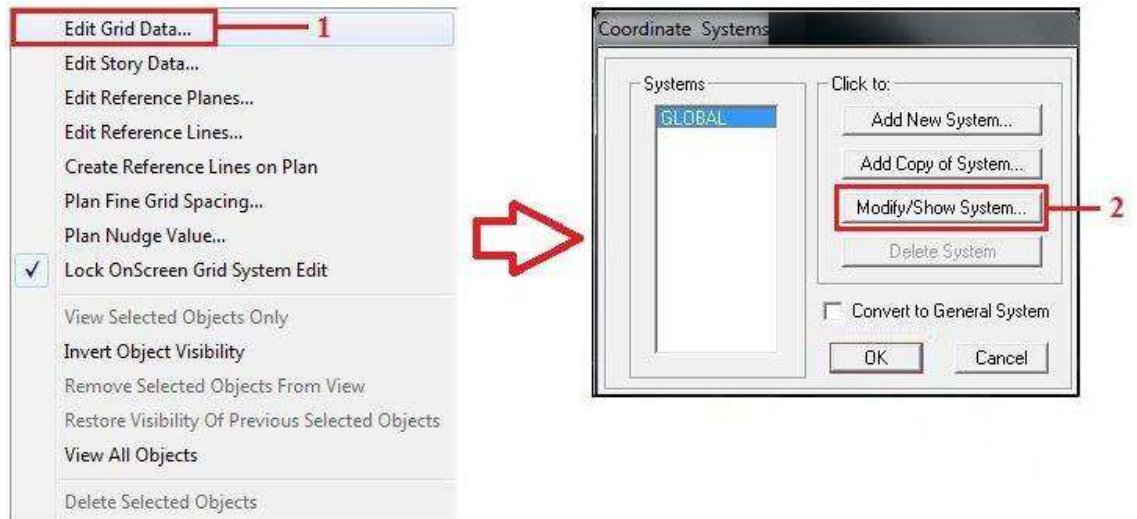


Figure II.3. Modification de la grille de base.

Les étapes de la figure II.3 se termine par l'affichage d'une fenêtre qui permet la saisie des valeurs respectives des positions des axes du réseau plan de référence (c.à-d. les longueurs des travées, Voir Figure II.4).

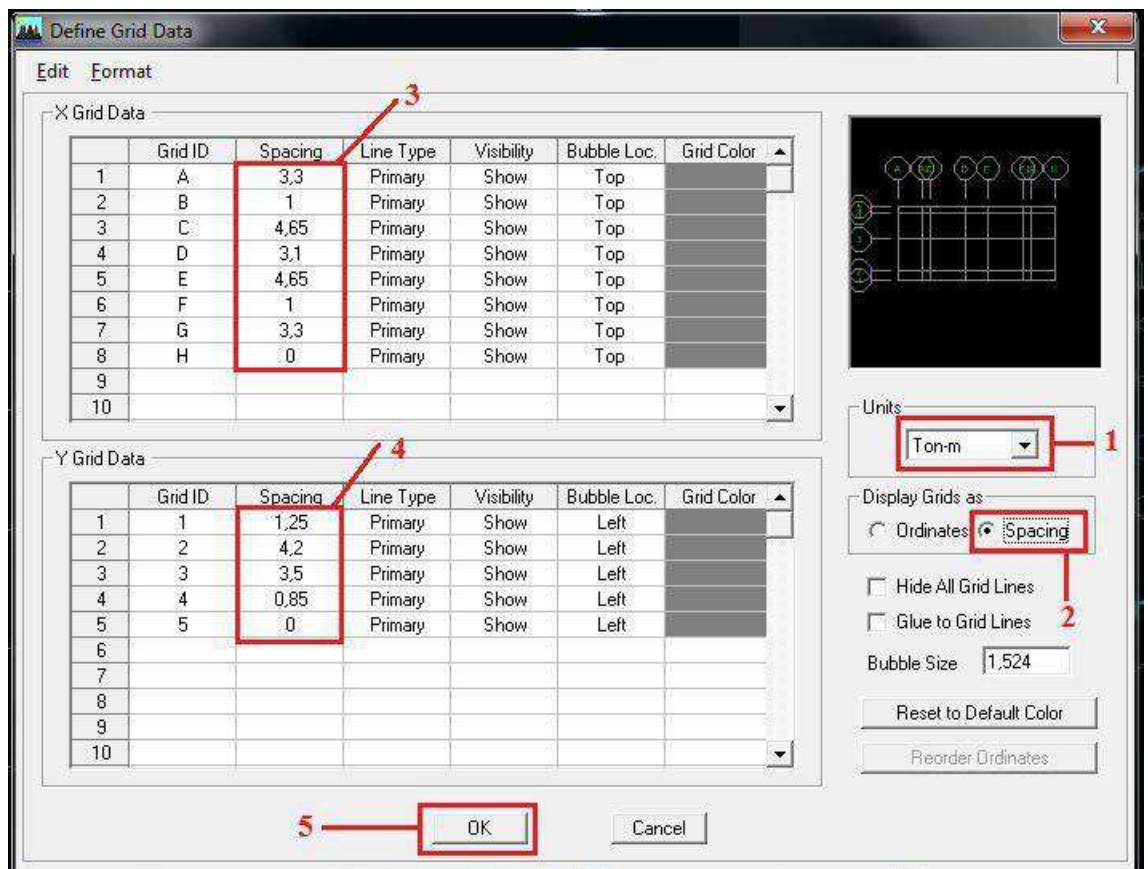


Figure II.4. Insertion des données de l'ouvrage modélisé.

La figure II.4 rassemble essentiellement les instructions concernant la modification de la géométrie structurelle de l'ouvrage modélisé.

1. Choisir le système d'unités, dans notre cas l'unité utilisée est " tonne - mètre " ;
2. Choisir l'option " Spacing ", qui permet la saisie des distances entre les lignes de références ;
3. Saisir les distances entre les lignes de références dans la direction x-x ;
4. Saisir les distances entre les lignes de références dans la direction y-y ;
5. Cliquer sur OK.

Deux vue de modèle sont affichées (2D et 3D). Si vous maximisez une fenêtre et que le modèle n'est plus centré , il faut cliquer sur (*View >Restore Full View*). Par la suite, il faut sauvegarder le modèle par les commandes suivantes (*File >Save*) tout en spécifiant le dossier de sauvegarde et le nom du fichier.

2. Définition et affectation des paramètres du modèle

2.1. Définition des matériaux

Cette instruction nous permet d'introduire les propriétés mécaniques et élastiques du matériau de la structure. Le logiciel ayants des caractéristiques par défaut de trois matériaux, le béton " *CONC* ", l'acier " *STEEL* " et autre matériau " *OTHER* " qui peuvent être changées selon les caractéristiques demandées. Les propriétés des matériaux prédéfinis peuvent être visualisées et modifiées par l'utilisateur, tout en suivant les étapes illustrées sur la figure II.5.

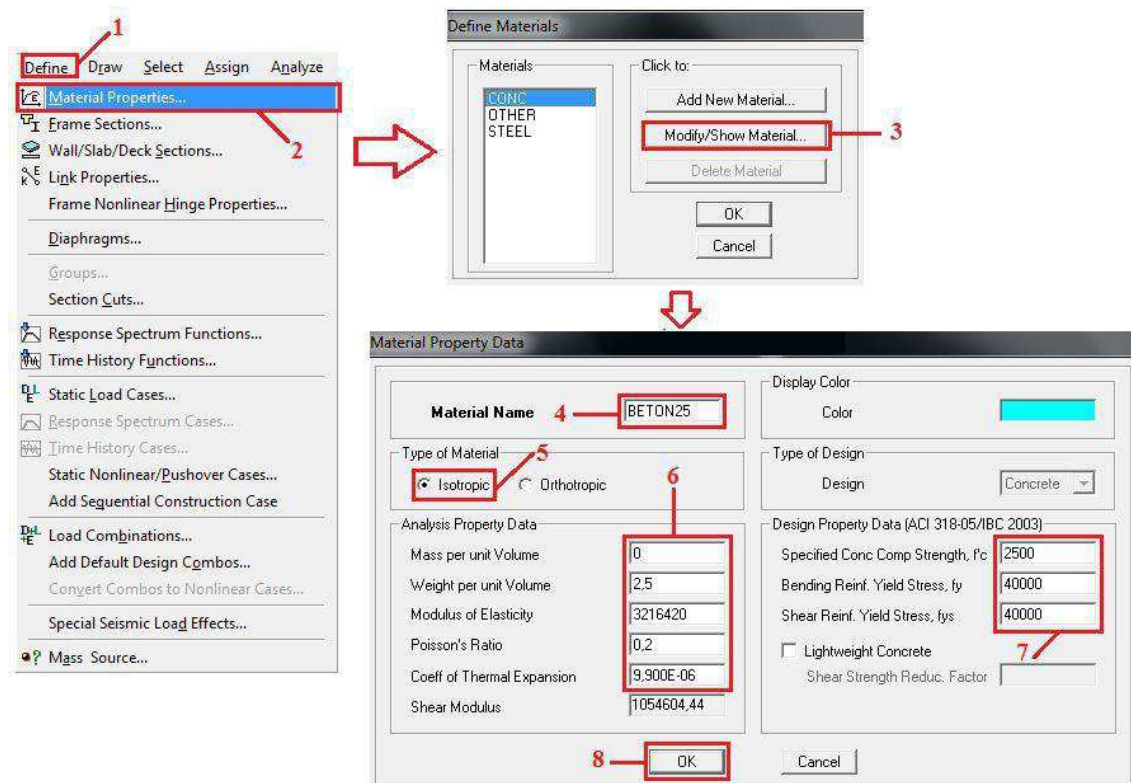


Figure II.5. Spécification des propriétés des matériaux.

Pour définir un nouveau matériau, on doit suivre les instructions énumérées ci-dessous :

1. Cliquer sur " *Define* " ;
2. Cliquer sur " *Material Properties ...* " ;
3. Sélectionner le matériau béton " *CONC* " puis cliquer sur le bouton " *Modify/Show Material* ", les propriétés des matériaux apparaissent, dans ce cas, comme valeurs implicites ;
4. Spécifier le nom du matériau " *Material Name* " ;
5. Spécifier le type de matériau, isotrope ou orthotrope " *Type of Material* " ;
6. Spécifier les caractéristiques mécaniques pour le calcul des sollicitations :
 - La masse volumique (*Mass per Unit Volum e*) ;
 - Le poids volumique (*Weight per Unit Volume*) ;
 - Le module d'élasticité (*Modulus of Elasticity*) ;
 - Coefficient de Poisson (*Poisson's Ratio*) ;
 - Coefficient de dilatation thermique (*Coeff of Thermal Expansion*).
7. Spécifier les propriétés mécaniques attribuées pour le calcul de béton armé :
 - Résistance caractéristique du béton (*Specified Conc Comp, f'c*) ;
 - Contrainte élastique des aciers (*Bending Reinf. Yield Stress, fy*) ;

- Contrainte de cisaillement des aciers (*Shear Reinf. Yield Stress, f_{ys}*).

8. Cliquer sur **OK** et reprendre cette opération pour définir d'autres matériaux.



Remarque

- Un matériau est dit isotrope si ses propriétés mécaniques sous charges sont identiques dans toutes les directions. Dans le cas contraire, le matériau est dit anisotrope ou orthotrope. En général, le béton et l'acier sont définis dans les logiciels comme matériaux isotropes. Pour le bois, certains types de pierre avec structure stratifiée ... etc., ils sont considérés comme des matériaux orthotropes ;
- Le coefficient de Poisson est égal à 0,2 pour le béton et de 0,3 pour l'acier.

2.2. Définition des propriétés de la section de l'élément barre

L'élément barre est utilisé dans la modélisation des structures à ossatures, des poutres treillis, des réseaux de poutres ... etc.

Avant d'effectuer le positionnement des éléments barres dans la structure, on doit définir les types de sections des éléments. Chaque type de section barre est défini par les propriétés du matériau et par les caractéristiques géométriques. Les propriétés de la section, constituées par l'ensemble des propriétés du matériau et des propriétés géométriques, sont définies par rapport au système de coordonnées local de l'élément.

L'ETABS présente aussi des possibilités de définition des caractéristiques géométriques à partir des bases de données (bibliothèque des profilés métalliques) des profilés en acier standard ou des profilés à inerties variables. Les figures II.6 et II.7 montrent la procédure de définition des éléments barres.

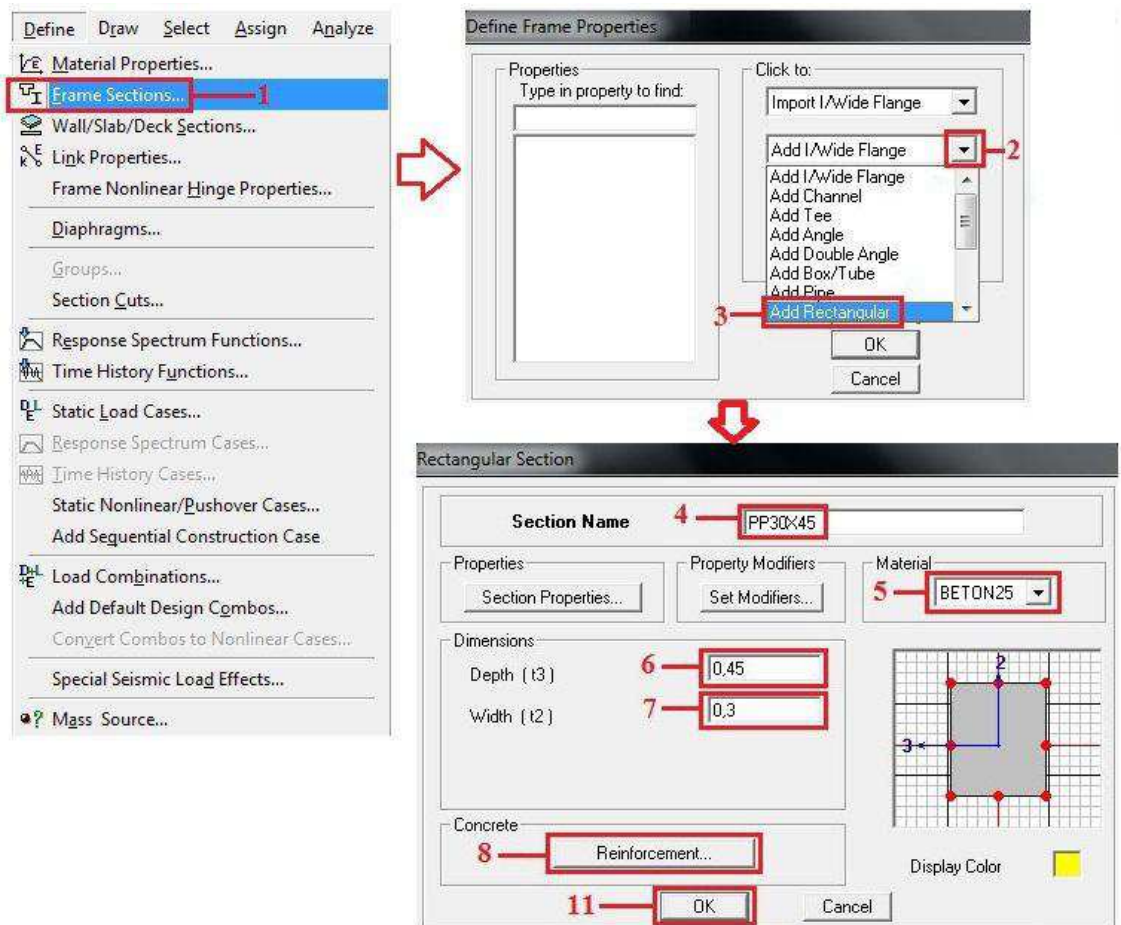


Figure II.6. Définition des sections des éléments de barre "partie 1".

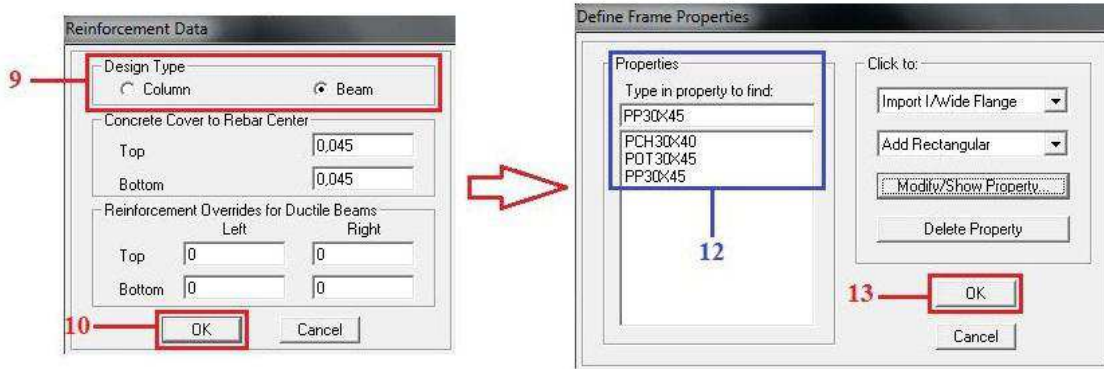


Figure II.7. Définition des sections des éléments de barre "partie 2".

Les figure II.6 et II.7 montrent les étapes de définition des propriétés de l'élément barre, ces étapes peuvent être résumées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define >Frame Sections* " ;
2. Cliquer sur la flèche pour choisir le type de la section (rectangulaire, circulaire, Section en T ... etc.) ;
3. Dans notre cas nous avons des sections rectangulaires, on choisit " *Add Rectangular* " ;
4. Spécifier le nom de la section ;
5. Choisir la nature du matériau de la section (béton ou acier) ;
6. Spécifier la hauteur de la section " *Depth* " ;
7. Spécifier la largeur de la section " *Width* " ;
8. Cliquer sur le bouton " *Reinforcement* " pour choisir le type de la section ;
9. Cocher le type approprié de la section, s'il s'agit d'un poteau il faut cocher " *Column* ", ou cocher " *Beam* " pour le cas des poutres ;
10. Cliquer sur **OK** pour confirmer le type de la section ;
11. Cliquer sur **OK** et reprendre les étapes 3 -->10, pour définir les autres sections ;
12. Après la définition de toutes les sections, une fenêtre apparaît et affiche toutes les sections définies ;
13. Cliquer sur **OK** pour confirmer la définition des sections.

2.3. Définition des propriétés de l'élément plaque

L'élément plaque est utilisé pour la modélisation des coques (réservoirs, coupoles) ou des plaques (dalles, voiles etc.). Ce type d'élément n'équilibre que les moments d'axes tangents à leur surface et des forces perpendiculaires au plan tangent. Trois degrés de liberté sont pris en compte au niveau de chaque nœud, deux rotations dans le plan tangent, une translation perpendiculaire au plan auxquels sont associés deux moments et une force. Le comportement de plaque plane fléchie n'inclut pas l'effet des déformations de cisaillement.

Chaque type de section de est défini par les propriétés du matériau et par les caractéristiques géométriques. Les caractéristiques de la section (l'ensemble des propriétés du matériau et des caractéristiques géométriques) sont définies par rapport au système de coordonnées local de l'élément. Pour définir un type de section plaque, on doit suivre les étapes illustrées sur les figures II.8 et II.9.

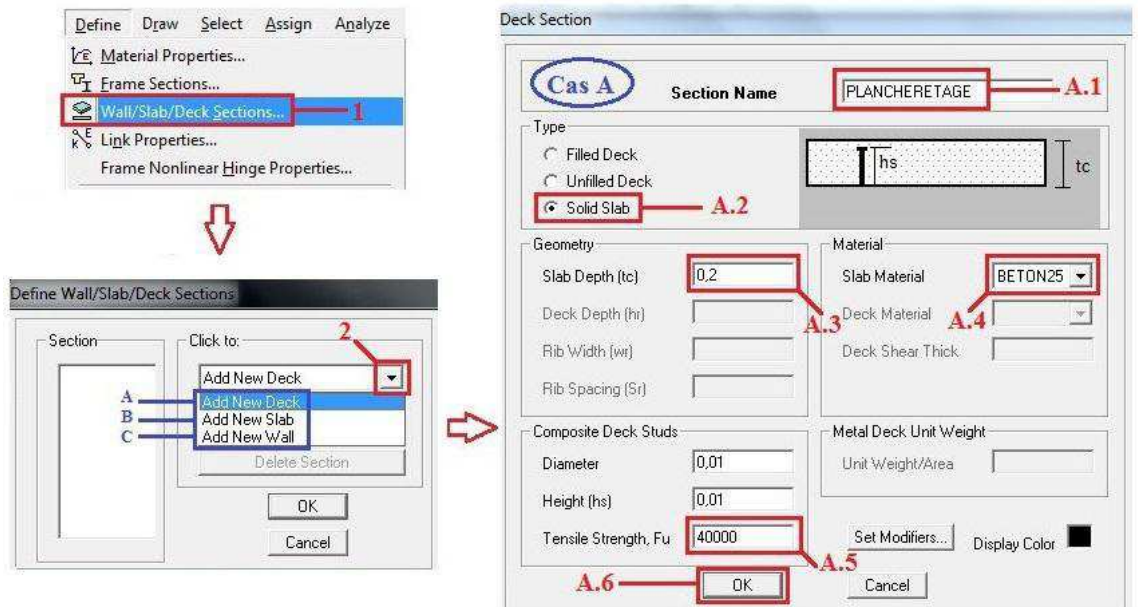


Figure II.8. Définition des sections des éléments de plaque "Partie 1".

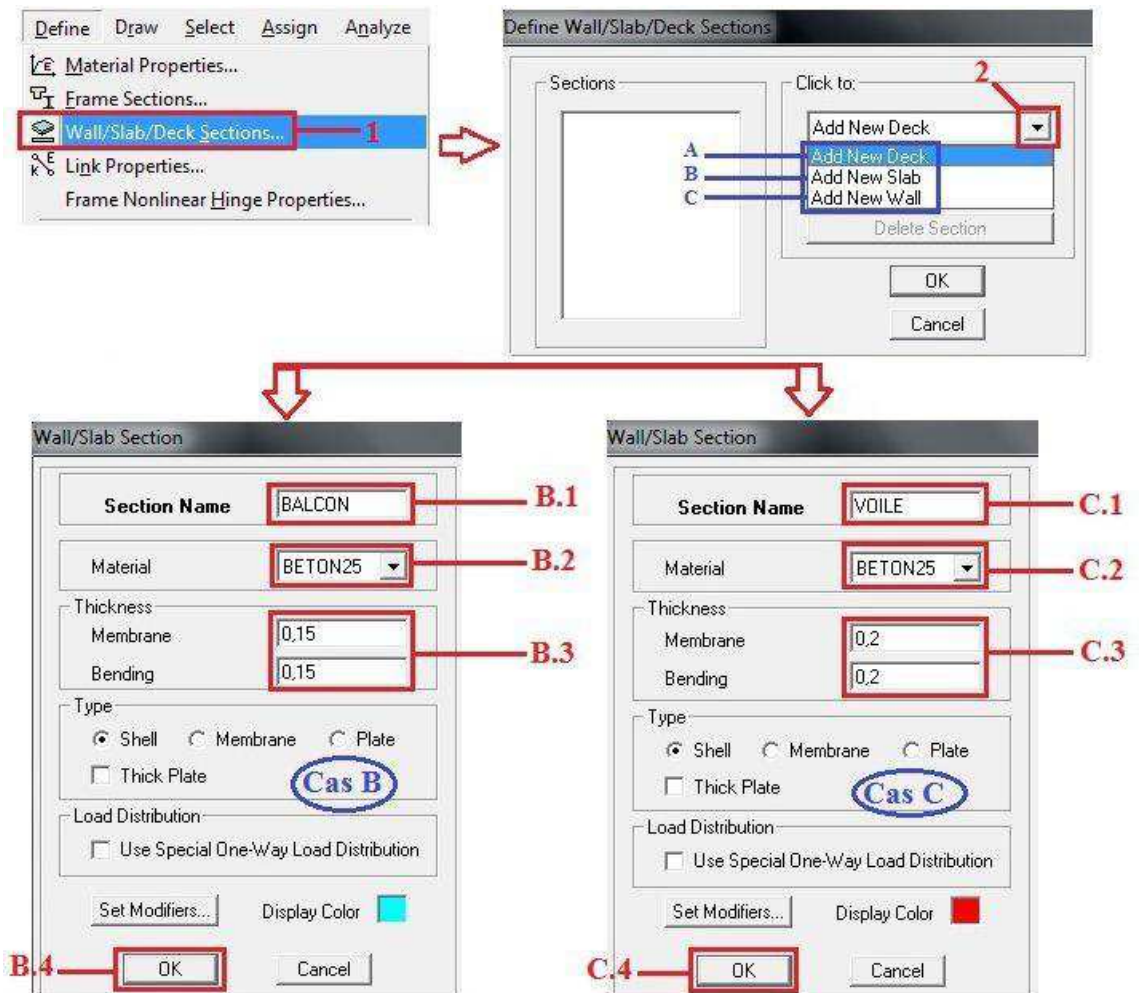


Figure II.9. Définition des sections des éléments de plaque "Partie 2".

Les figures II.8 et II.9 montrent la procédure de définition des caractéristiques des différentes sections de l'élément plaque :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define > Wall/Slab/Deck Frame Sections ...* " ;

2. Cliquer sur la flèche pour spécifier le type de l'élément plaque. Trois types d'élément plaque apparaissent dans la boîte de dialogue (Cas A : *Add New Deck* , Cas B : *Add New Slab* , Cas C : *Add New Wall*) ;

Cas A : Add New Deck, cette commande est utilisée pour définir les planchers portant dans un seul sens (Exemple : le cas des planchers nervurés)

- A.1 : Donner le nom de l'élément plaque (le logiciel propose des noms par défaut) ;
- A.2 : Dans le cas où les dimensions des corps creux ne sont pas connues, on coche l'option " *Solid Slab* " dans le cas contraire on coche l'option " *Filled Deck* " ;
- A.3 : Introduire la valeur de l'épaisseur du plancher ;
- A.4 : Indiquer le type de matériau du plancher ;
- A.5 : Spécifier la contrainte élastique des aciers ;
- A.6 : Cliquer sur **OK** pour confirmer la création du plancher.

Cas B : Add New Slab, cette commande est utilisée pour définir les planchers portant dans deux sens ou plus (Exemple : le cas des dalles pleines)

- B.1 : Donner le nom de l'élément plaque (le logiciel propose des noms par défaut) ;
- B.2 : Indiquer le type de matériau de la dalle ;
- B.3 : Introduire la valeur de l'épaisseur du plancher ;
- B.4 : Cliquer sur **OK** pour confirmer la création de la dalle.

Cas C : Add New Wall, cette commande est utilisée pour définir les voiles

- C.1 : Donner le nom de l'élément plaque (le logiciel propose des noms par défaut) ;
- C.2 : Indiquer le type de matériau du voile ;
- C.3 : Introduire la valeur de l'épaisseur du voile ;
- C.4 : Cliquer sur **OK** pour confirmer la création du voile.

2.4. Conception du modèle de la structure

2.4.1. Affectation des sections de l'élément barre aux éléments de la structure

Après la définition des types des sections de l'élément barre, il est indispensable de spécifier le type de section pour chaque élément de la structure. Par exemple, les poteaux sont de type POT30X45, les poutres principales sont de type PP30X45 et les poutres de chaînages sont de type PCH30X40. La figure II.10 montre les différentes commandes permettant l'affectation des propriétés de sections aux éléments appropriés.

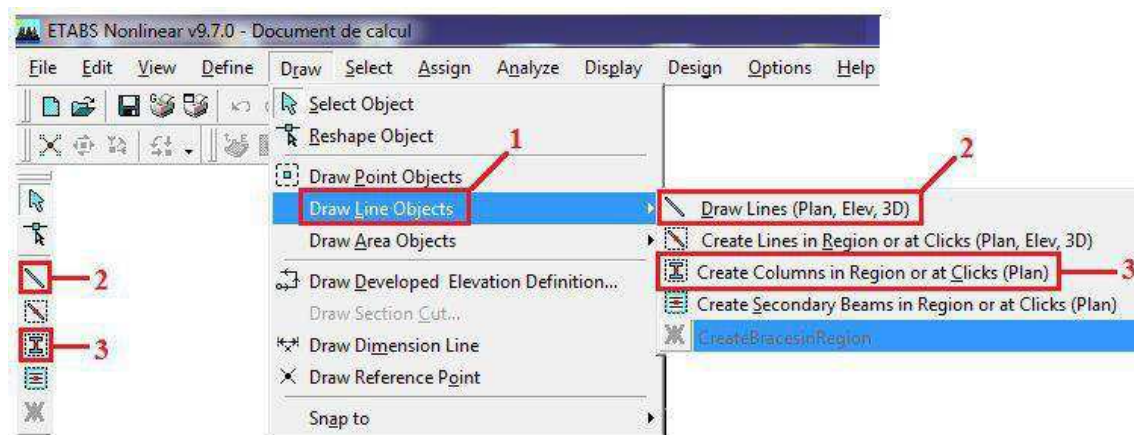


Figure II.10. Commandes permettant l'affectation des éléments de barre.

Pour affecter la section des poteaux et/ou des poutres, on suit les étapes suivantes :

1. Cliquer sur le menu principal *Draw > Draw Line Objects* ;
2. Pour l'affectation des poutres, on clique sur la commande *Draw lines (Plan, Elev, 3D)* ;
3. Pour l'affectation des poteaux, on choisit la commande *Create Columns in Region or at Clicks (Plan)* .

L'affectation des poteaux et des poutres peut être effectuée par les icônes figurées dans l'espace de travail (Voir figure II.10).

a) Affectation des poteaux

Pour le positionnement des poteaux, on clique tout d'abord sur le menu principal *Draw > Draw Line Objects > Create Columns in Region or at Clicks (Plan)*, puis on suit les étapes suivantes (Voir figure II.11) :

1. Cliquer sur "*Property*" pour choisir le type de la section, dans notre cas, on choisit POT30X45 ;
2. Spécifier l'angle de rotation de la section, cette opération permettra la modification de l'orientation des axes locaux de l'élément barre, c.-à-d. l'orientation de la direction de la plus grande dimension de la section du poteau ;
3. Cliquer sur l'emplacement des poteaux en fonction de leurs positions par rapport aux lignes de références.

Pour interrompre l'action de cette commande, il suffit de cliquer sur le bouton droit de la souris.

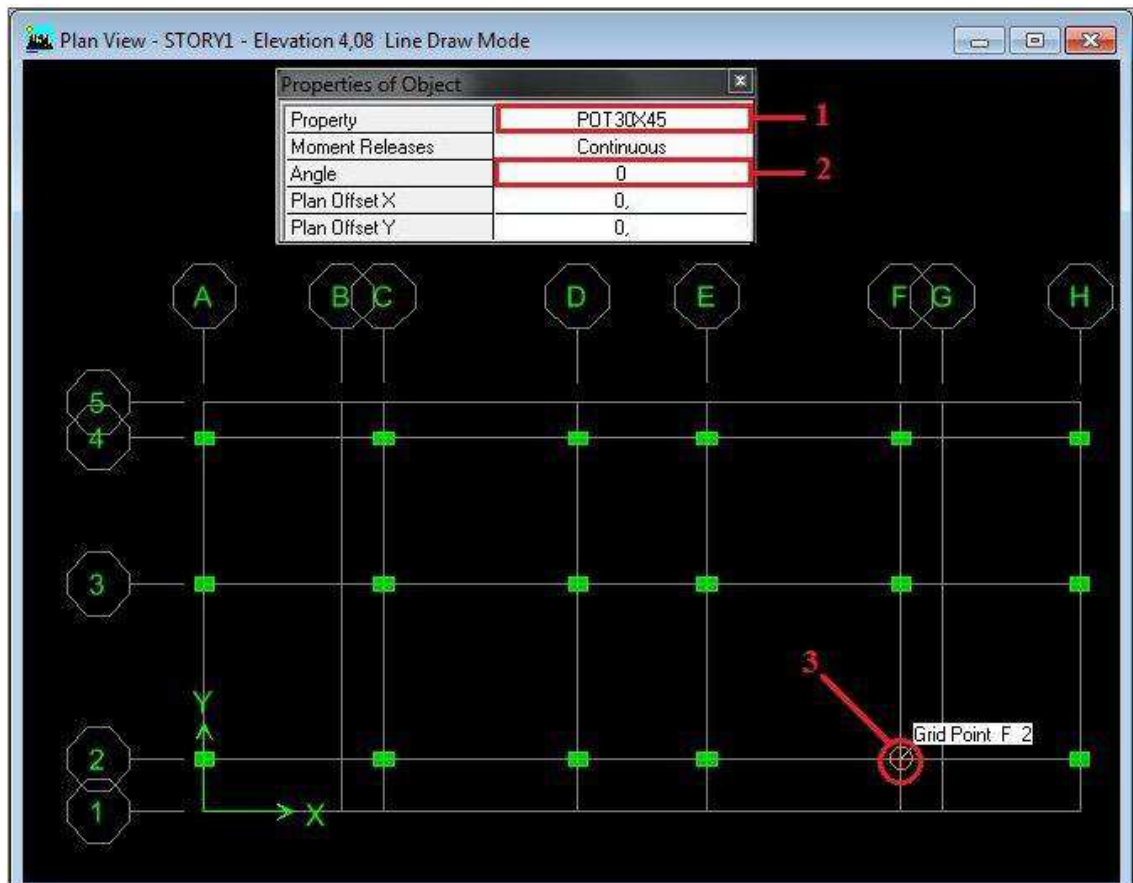


Figure II.11. Affectation des poteaux.

b) Affectation des poutres

La création des poutres s'effectue en fonction des positions des appuis. Pour l'attribution des poutres, on clique tout d'abord sur le menu principal *Draw > Draw Line Objects > Draw lines (Plan, Elev, 3D)*, puis on suit les étapes suivantes (Voir figure II.12) :

1. Cliquer sur *Property* pour choisir le type de la section, dans notre cas, on choisit POT30X45 ;
2. Un premier clic sur le point de départ de la poutre suivi par un deuxième sur l'autre extrémité de la poutre.

Pour interrompre l'action de cette commande, il suffit de cliquer sur le bouton droit de la souris.

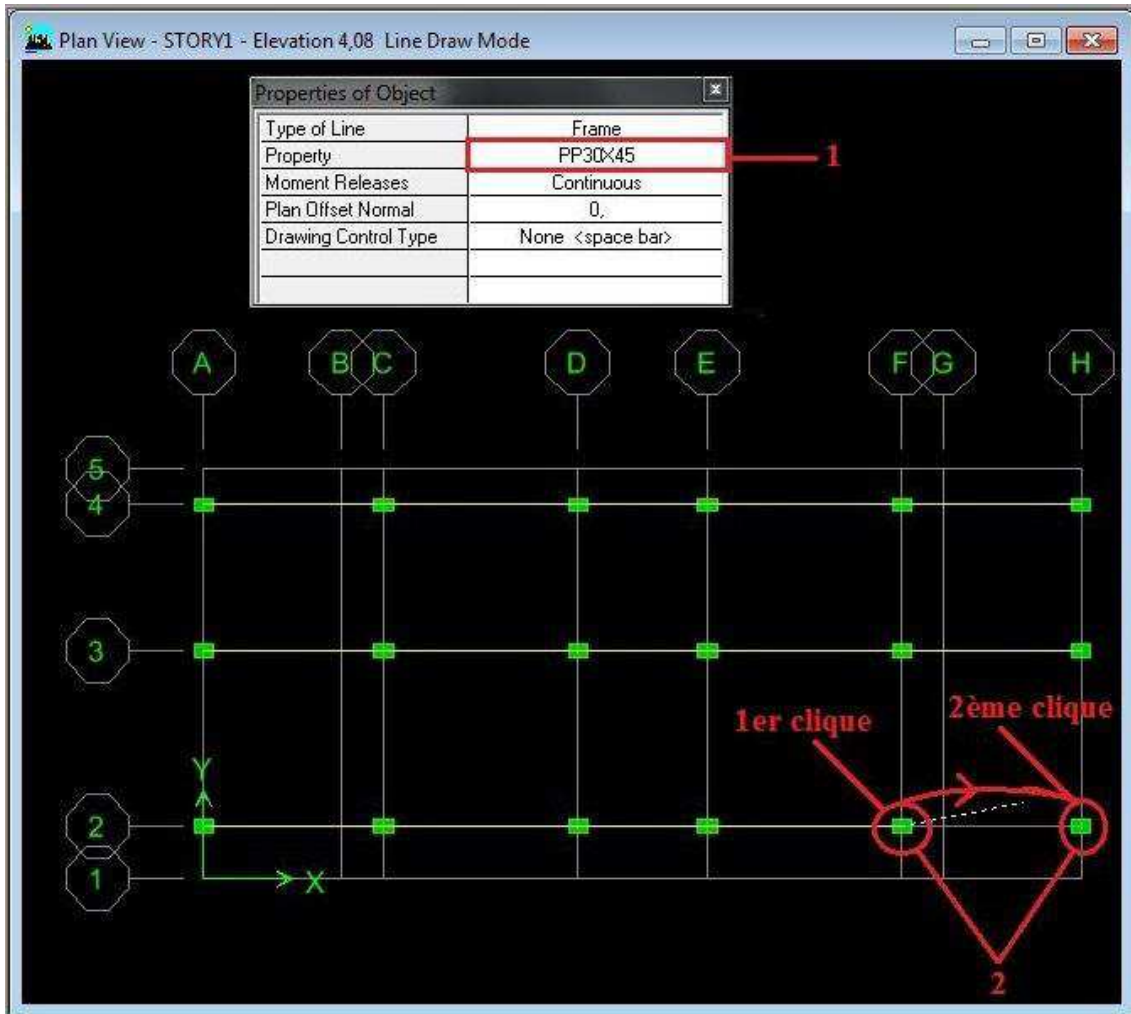


Figure II.12. Affectation des poutres.

L'affectation de sections des poteaux et des poutres conduira à l'obtention d'un réseau de portiques du rez-de-chaussée (Voir figure II.13).

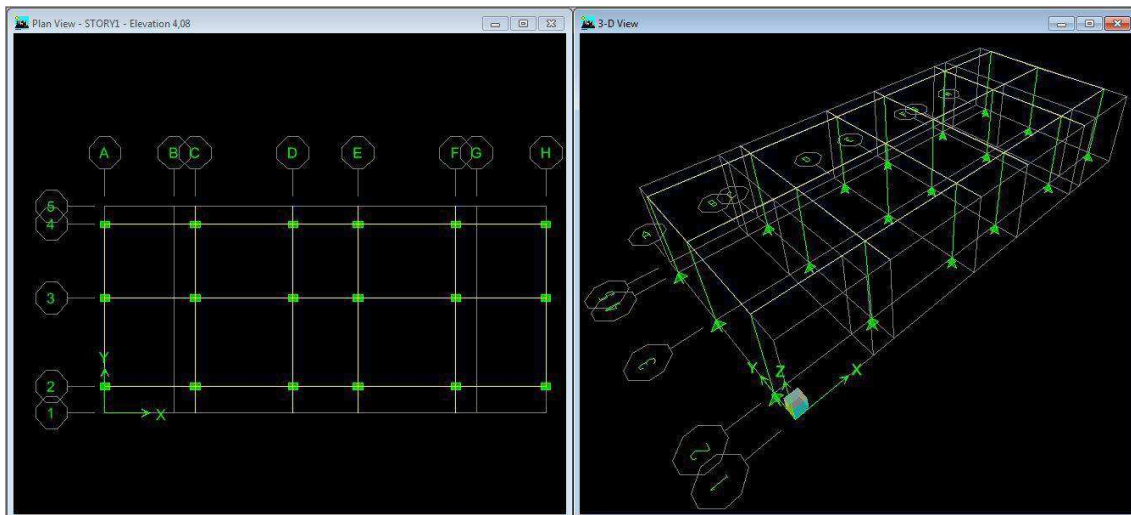


Figure II.13. Vue en plan et en 3D des portiques de rez-de-chaussée.

2.4.2. Affectation des sections de l'élément plaque au éléments de la structure

Après la définition des différents types de sections des éléments plaques, cette instruction consiste à spécifier le type de section pour chaque élément plaque de la structure. Par exemple, les planchers nervurés, les balcons ... etc. Dans la plupart des cas, l'élément plaque peut avoir 3,

4 ou plus de 4 nœuds. L'élément quadratique (4 nœuds) offre une meilleure précision des résultats, par rapport aux autres éléments. La figure II.14 illustre les différentes commandes permettant l'affectation des propriétés de sections des éléments plaques.

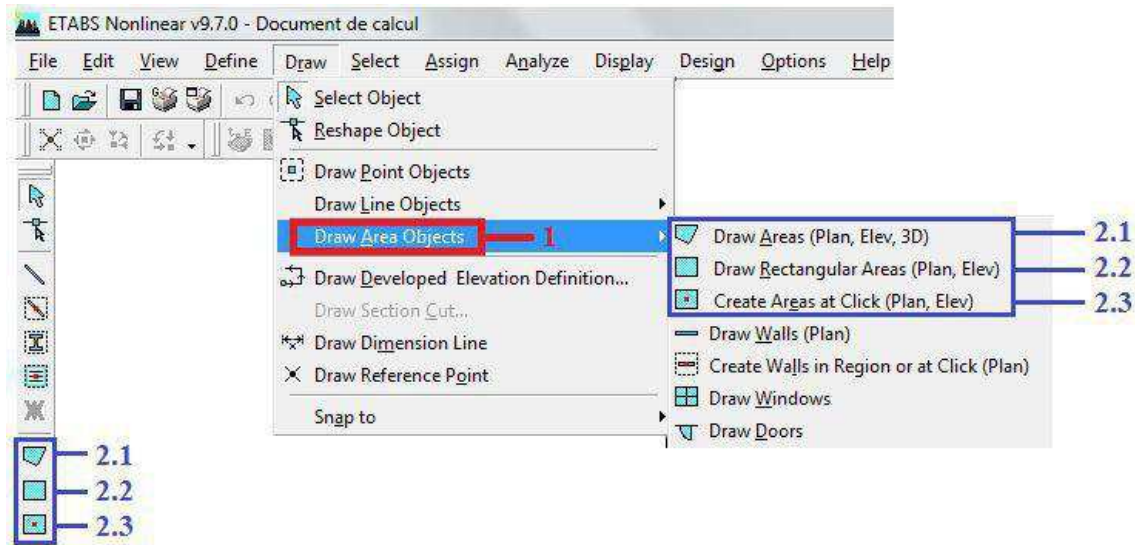


Figure II.14. Commandes permettant l'affectation des éléments de plaque.

Pour affecter la section des éléments plaques, on clique sur le menu principal *Draw > Draw Area Objects*, une boîte de dialogue s'affiche et montre trois commandes (la commande 2.1, la commande 2.2 et la commande 2.3) qui permettent l'attribution des éléments plaques. Dans ce qui suit nous présenterons le rôle de chacune de ces commandes.

• **Commande 2.1 : Draw Area (Plan, Elev, 3D)**

Cette commande est utilisée pour créer n'importe quelle forme de panneaux (3, 4 et plus de 4 nœuds). La figure II.15 montre l'utilité de cette commande dans la création des planchers.

1. Cliquer sur l'icône *Draw Area (Plan, Elev, 3D)* ou par l'intermédiaire du menu principal (*Draw > Draw Area Objects > Draw Area (Plan, Elev, 3D)*) ;
2. Cliquer sur *Property* pour choisir le type de l'élément plaque (Dans notre cas, on choisit *PLANCHERETAGE* pour les planchers nervurés et *BALCON* pour les dalles pleines) ;
3. Cliquer sur *Local Axis* pour modifier l'orientation des axes locaux de l'élément plaque, c.-à-d. l'angle avec lequel le sens des nervures sera pivoté. Cette commande est généralement utilisée dans le cas des planchers nervurés ;
4. Cliquer par le bouton gauche de la souris sur les sommets du contour du plancher puis le bouton droit pour interrompre l'action de cette commande et pour confirmer la création du plancher.

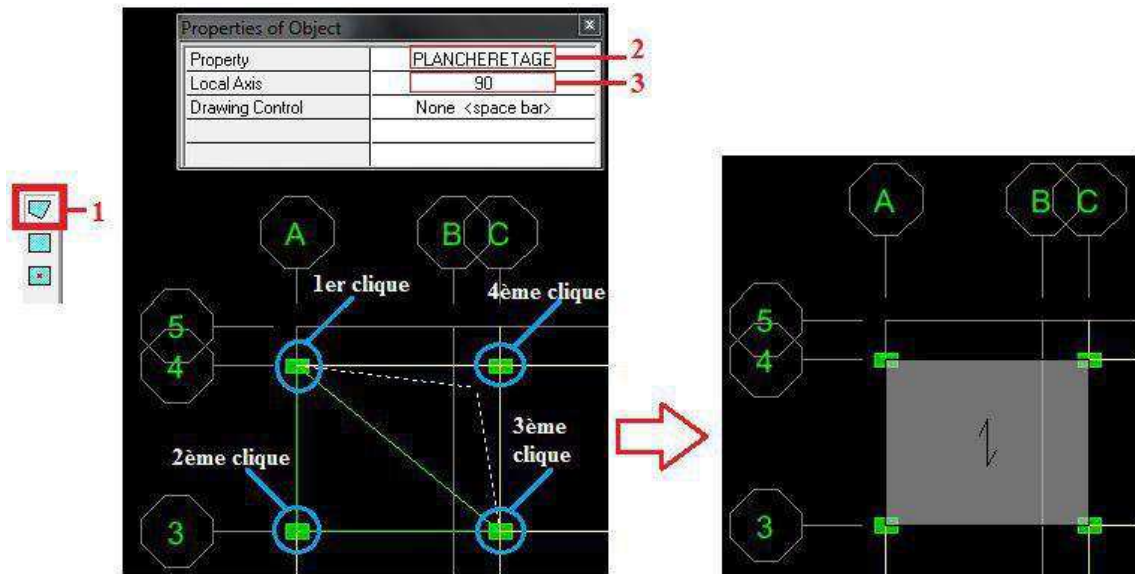


Figure II.15. Première méthode d'affectation des planchers.

- **Commande 2.2 : Draw Rectangular Areas (Plan, Elev)**

Cette commande ne permet de créer que des panneaux de formes rectangulaires et/ou carrés. La figure II.16 illustre les différentes étapes de cette commande dans la création des planchers rectangulaires et/ou carrés.

1. Cliquer sur l'icône *Draw Rectangular Areas (Plan, Elev)* ou par l'intermédiaire du menu principal (*Draw > Draw Area Objects > Draw Rectangular Areas (Plan, Elev)*) ;
2. Cliquer sur *Property* pour choisir le type de l'élément plaque (Dans notre cas, on choisit *PLANCHERETAGE* pour les planchers nervurés et *BALCON* pour les dalles pleines) ;
3. Cliquer sur *Local Axis* pour modifier l'orientation des axes locaux dans le cas des planchers nervurés c.-à-d. l'angle avec lequel le sens des nervures sera pivoté ;
4. Cliquer et maintenir le bouton gauche de la souris enfoncé sur le premier coin du plancher <O> et faire glisser en diagonale le curseur de la souris jusqu'au coin opposé <O'> du plancher.

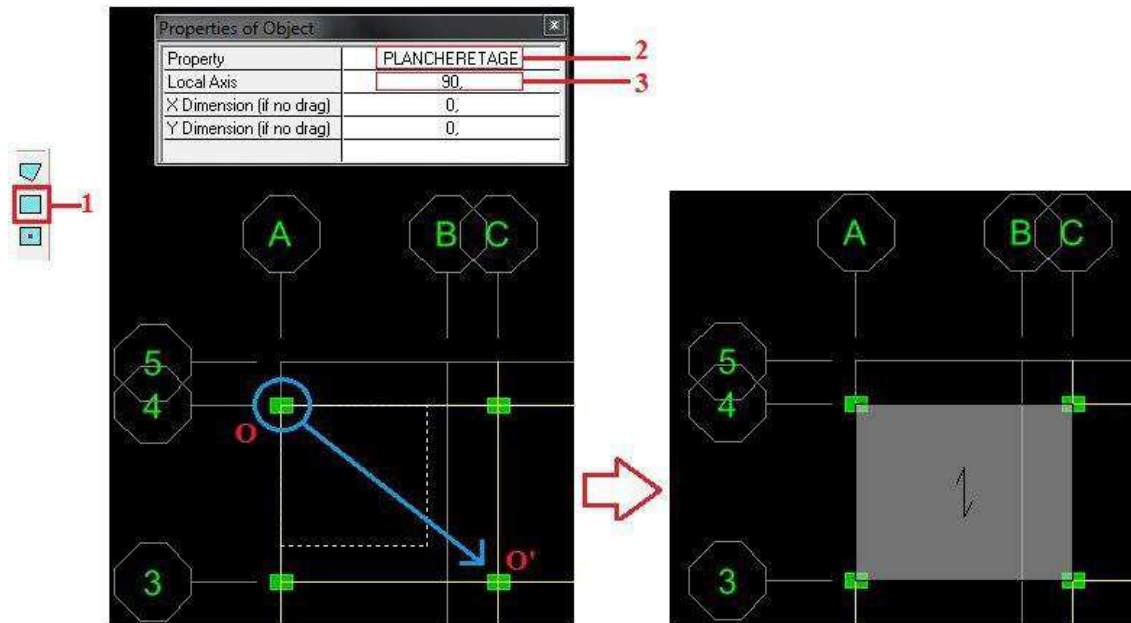


Figure II.16. Deuxième méthode d'affectation des planchers.

- **Commande 2.3 : Create Areas at Click (Plan, Elev)**

Cette commande est utilisée pour créer des panneaux de n'importe quelle forme tout en cliquant à l'intérieur du contour du panneau. Cependant, il est recommandé d'utiliser cette commande que pour le cas des contours fermés c.-à-d., les lignes de références ne doivent pas passer par le contour du plancher. La figure II.17 résume les étapes précédentes.

1. Cliquer sur l'icône *Draw Rectangular Areas (Plan, Elev)* ou par l'intermédiaire du menu principal (*Draw > Draw Area Objects > Create Areas at Click (Plan, Elev)*) ;
2. Cliquer sur *Property* pour choisir le type de l'élément plaque (Dans notre cas, on choisit *PLANCHERETAGE* pour les planchers nervurés et *BALCON* pour les dalles pleines) ;
3. Cliquer à l'intérieur du contour fermé du plancher. La figure II.17 montre deux cas de contour de plancher, un contour fermé et un autre séparé par une ligne de référence.

D'après la figure II.17, on constate que l'utilisation de cette commande, dans le cas des contours séparés par des lignes de référence, conduit à l'obtention des planchers incomplets.

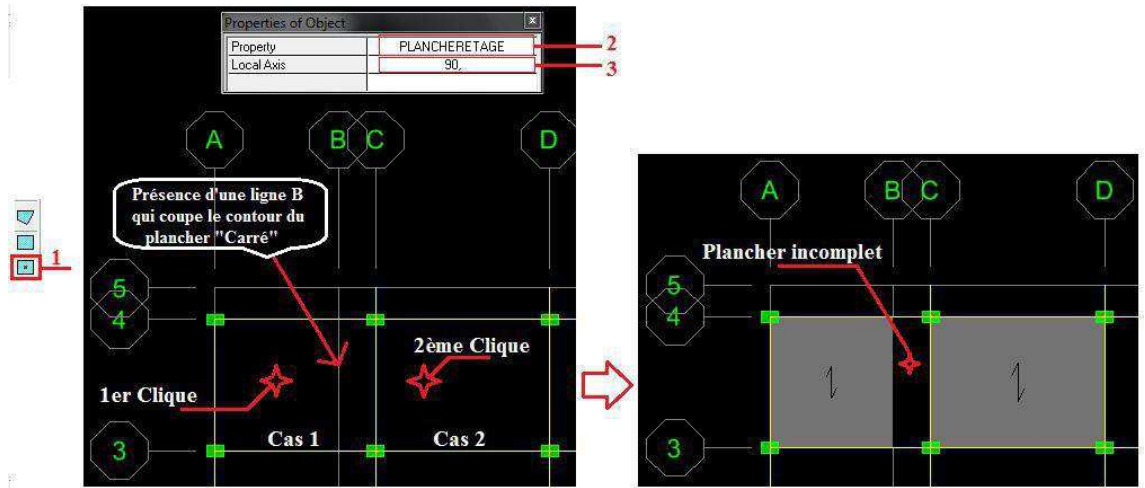


Figure II.17. Troisième méthode d'affectation des planchers.

L'affectation des éléments plaques de la structure conduira à la création du plancher de rez-de-chaussée (voir figure II.18).

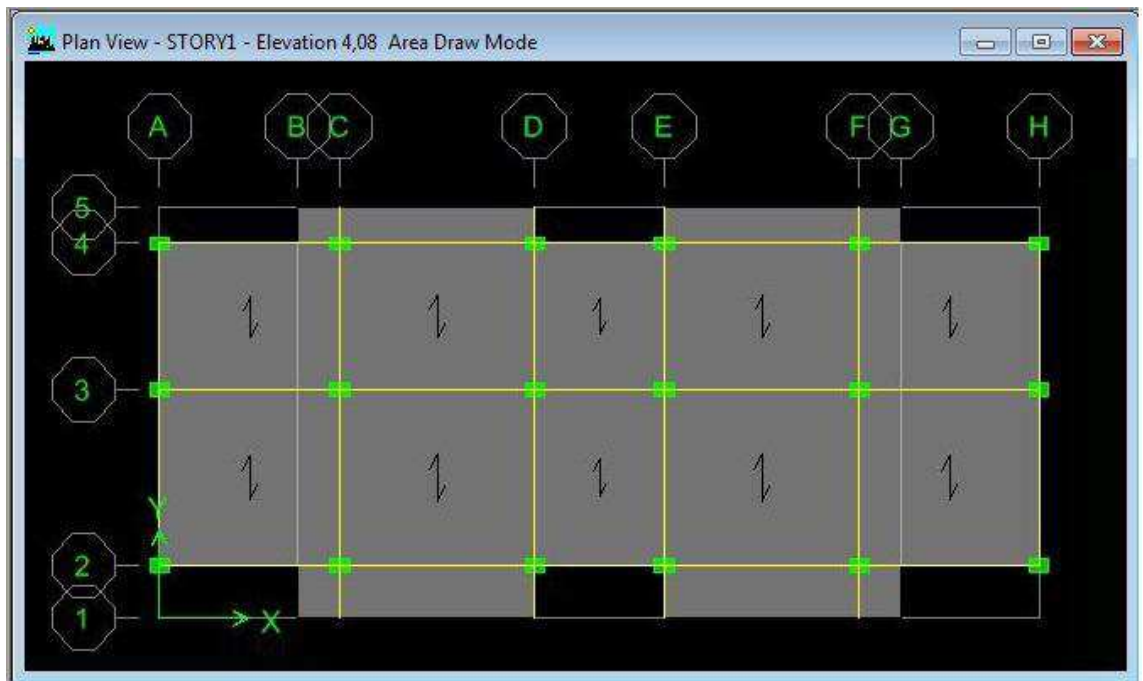


Figure II.18. Vue en plan du plancher de rez-de-chaussée.

2.4.3. Insertion des étages

Cette instruction permet d'insérer un ou plusieurs étages dans une structure, en gardant les mêmes caractéristiques géométriques d'un étage similaire choisi dans le menu de la commande. La figure II.19 décrit les différentes étapes qui permettent l'insertion de nouveaux étages.

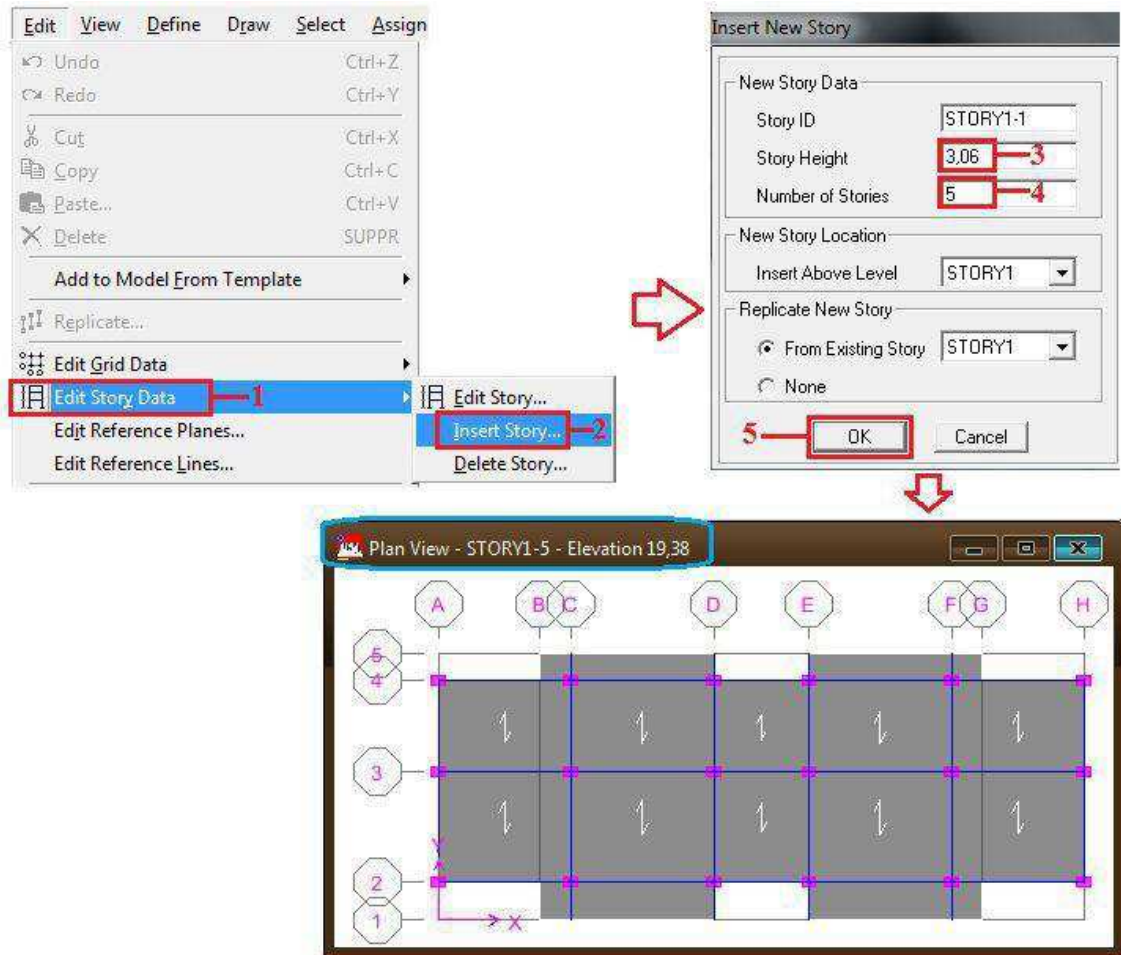


Figure II.19. Insertion des étages.

Notre structure est composée de 5 étages, pour les insérer on doit suivre les étapes suivantes :

1. Cliquer sur le menu principal *Edit > Edit Story Data*
2. Cliquer sur *Insert Story*, une boîte de dialogue s'affiche ;
3. Saisir la hauteur des étages à insérer, dans notre cas nous avons 5 étages de 3.06m de hauteur ;
4. Préciser le nombre des étages à insérer ;
5. Cliquer sur OK pour confirmer l'insertion des étages.

La figure II.19 montre la vue en plan de notre structure ce qui confirme l'insertion des 5 niveaux de la structure (Hauteur totale du bâtiment 19.38m).

2.4.4. Conditions aux limites (Appuis)

Les appuis peuvent être spécifiés comme articulés, encastrés, ou comme encastrés avec certaines relaxations. ETABS permet aussi de définir des appuis élastiques. Dans le cas présent, il s'agit d'encastresments à la base des poteaux. La figure II.20 décrit les principales étapes qui permettent la sélection des bases de poteaux afin d'assigner les appuis.

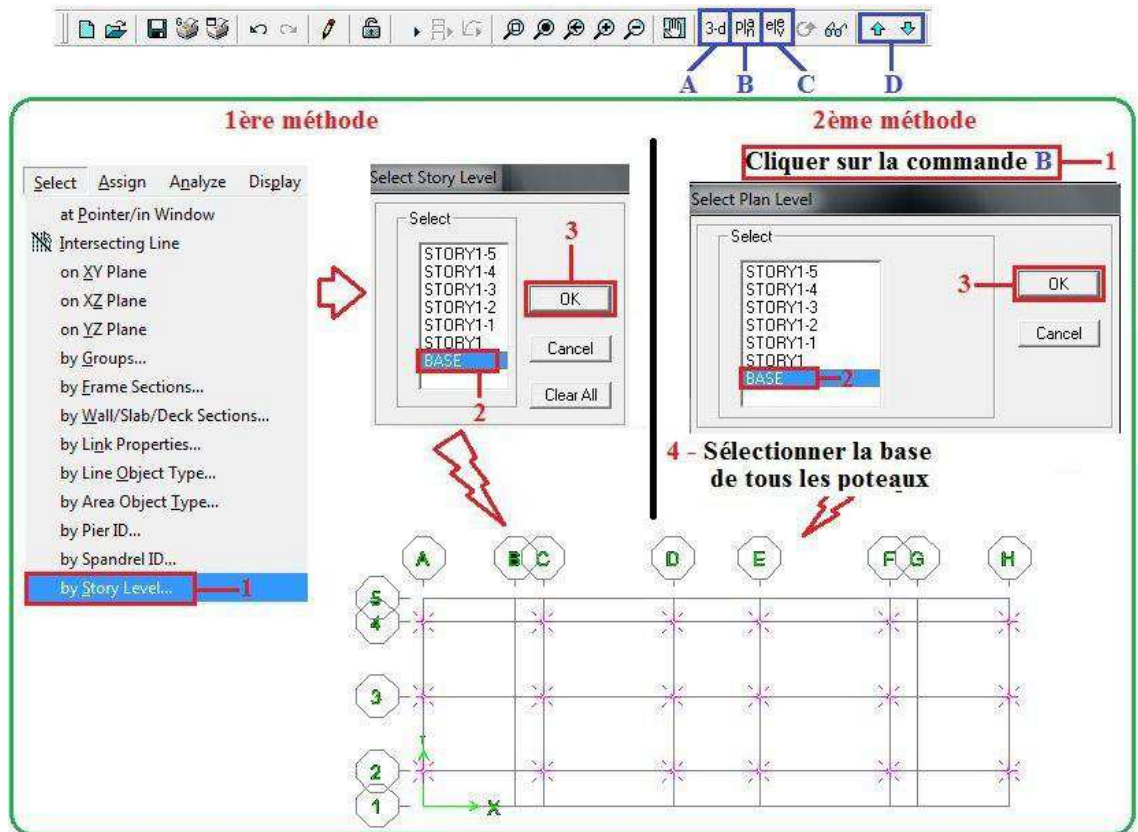


Figure II.20. Méthode de sélection des bases de poteaux.

La sélection des bases de poteaux s'effectue comme suit :

• **Première méthode**

1. Cliquer sur le menu principal " *Select > By Story Level* " ;
2. Une boîte de dialogue s'affiche et permet de choisir le niveau à sélectionner, dans notre cas on choisit " *BASE* " pour sélectionner les bases de poteaux ;
3. Cliquer sur *OK* pour confirmer la sélection des bases de poteaux.

• **Deuxième méthode**

La sélection des bases de poteaux peut être effectuée par l'intermédiaire des commandes A, B, C et D qui permettent respectivement :

- d'afficher une vue en 3D ;
 - d'afficher une vue en plan d'un niveau en fonction de sa hauteur ;
 - d'afficher un portique en élévation en fonction de sa position par rapport aux lignes de références ;
 - de changer le niveau pour la sélection et/ou le chargement.
1. Cliquer sur la commande **B** ;
 2. Une boîte de dialogue s'affiche et permet de choisir le niveau à sélectionner, dans notre cas on choisit " *BASE* " ;
 3. Cliquer sur *OK* pour confirmer l'affichage du niveau " *BASE* " c.à.d. le niveau de bases de poteaux ;
 4. Sélectionner la base de tous les poteaux à l'aide de la souris.

Une fois, les bases de poteaux sont sélectionnées, on procède à l'attribution des appuis aux bases de poteaux (Voir figure II.21)

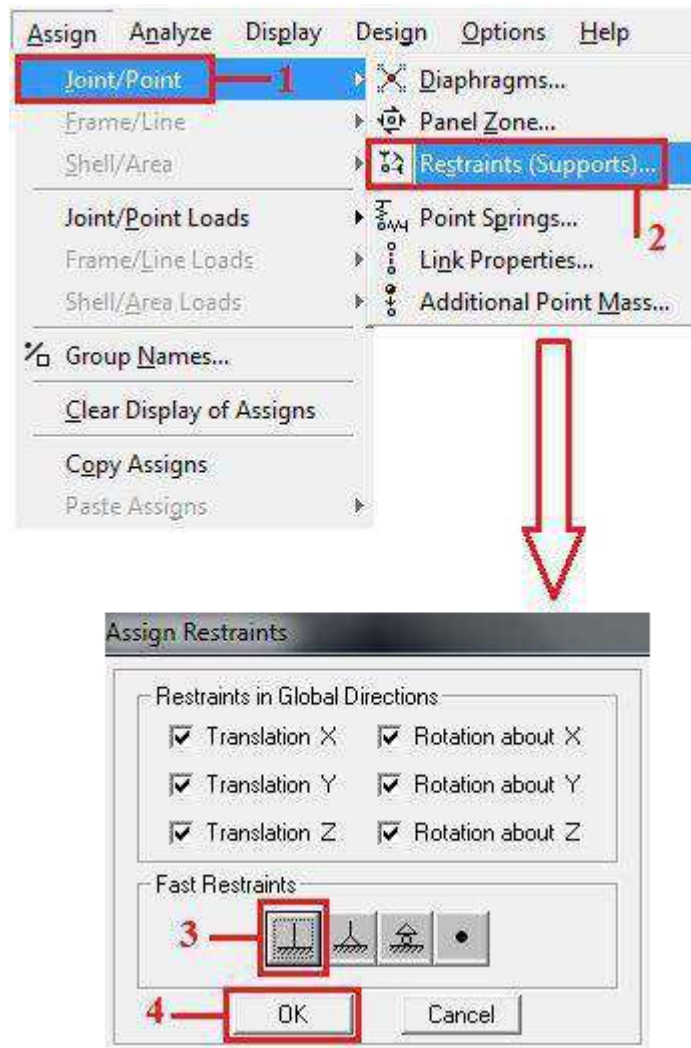


Figure II.21. Affectation des appuis aux bases de poteaux.

La figure II.21 montre les étapes d'affectation des appuis à la base des poteaux :

1. Cliquer sur le menu principal *Assign > Joint/Point* ;
2. Cliquer sur " *Restraints (Supports)...* " ;
3. Choisir le type d'appuis (Encastrement, appuis double, appuis simple ou point libre)
4. Cliquer sur **OK** pour attribuer le type d'appuis choisi aux bases de poteaux.

2.4.5. Diaphragmes

Le diaphragme est un élément plaque plan, rigide dans son plan, horizontal ou incliné, assurant trois fonctions principales.

- Transmettre les charges sismiques horizontales sur les éléments verticaux de contreventement (murs, travées triangulées ou portiques). La transmission des charges s'effectue par effet de poutre, car le diaphragme se comporte comme une poutre située dans le plan des charges horizontales ;
- Raidir les bâtiments à la manière d'un couvercle de boîte. Le raidissage vise à prévenir le déversement des éléments porteurs verticaux ;
- Coupler les éléments verticaux. Tous les éléments solidaires du diaphragme travaillent en phase et participent à la résistance en proportion de leur rigidité.

Les diaphragmes sont nécessaires à tous les niveaux. Ils peuvent donc être constitués par des planchers et toitures-terrasses (planchers en béton, bois, acier,...) ou des toitures inclinées (en béton, charpente métallique ou bois,...).

Les différents types de planchers et toitures « plaques » ne constituent un diaphragme rigide que dans le respect de certaines dispositions constructives qui assurent un comportement dynamique satisfaisant, à savoir :

- Solidarisation impérative avec les chaînages périphériques et poutres qui assurent la liaison avec les palées de stabilité ;
- Renforcement des bords des trémies dont les dimensions doivent être limitées (sinon, dispositions compensatrices pour éviter les déformations du diaphragme) ;
- Si la « plaque » est constituée de plusieurs couches, liaisons entre les couches de façon à assurer un comportement dynamique homogène ;
- En cas de béton armé éviter les reprises de coulage du béton entre la dalle et les chaînages, poutres, chapiteaux...



Remarque

- **Un diaphragme rigide** impose le même déplacement en tête de chaque élément vertical, ce qui permet de solliciter équitablement toutes les palées de stabilité. En cas de rupture d'une palée de stabilité, la répartition des charges se fait automatiquement sur les autres ;
- **Un diaphragme flexible** n'a pas un comportement dynamique continu de part et d'autre des éléments verticaux (palées, mais également poteaux), et chaque élément reçoit une charge proportionnelle à la surface de plancher le concernant comme pour les charges verticales.



Exemple

Exemples de diaphragmes plaques

- Dalle pleine de béton armé coulé en place ;
- Dalle pleine de béton armé coulé en place sur pré-dalles ;
- Dalles préfabriquées en béton armé ;
- Planchers à dalle de compression sur poutrelles en entrevous (**notre cas**) ;
- Planchers à dalle de répartition sur tôles d'acier profilées ;
- Planchers et pans de toiture bois à panneaux de contreplaqué ;
- Planchers et pans de toiture à lames de bois massif.

Chaque type de plaque pour chaque type de matériaux utilisés doit faire l'objet d'une mise en œuvre précise pour assurer effectivement sa fonction de diaphragme rigide. Les règles de construction précisent ces mises en œuvre.

La figure II.22 montre la procédure d'insertion d'un diaphragme rigide.

1. Sélectionner l'ensemble de la structure à partir du menu principal *Select >All Ctrl + A* ou par l'icône *all* ;
2. Cliquer sur le menu principal *Assign >Joint/Point* ;
3. Cliquer sur *Diaphragms* ;
4. Une boîte de dialogue qui s'affiche et permet de sélectionner le diaphragme rigide "D1" ;
5. Cliquer sur *OK* pour attribuer le diaphragme à tous le niveau. L'affectation du diaphragme à tous les niveau s'accompagne par l'apparition d'un point sur la vue en plan de chaque niveau de la structure. Ce point représente le centre de masse de chaque niveau de la structure.

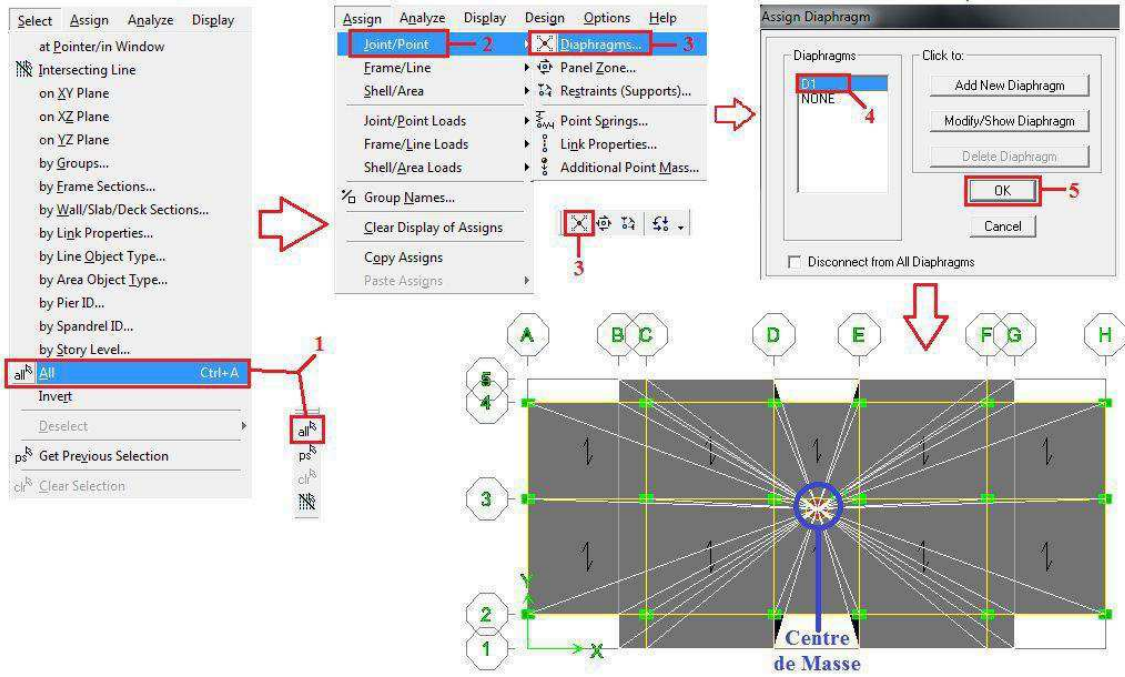


Figure II.22. Insertion du diaphragme.

3. Exercice

La vue en plan d'un bâtiment en R+4 à usage de bureaux est illustrée sur la figure II.23.

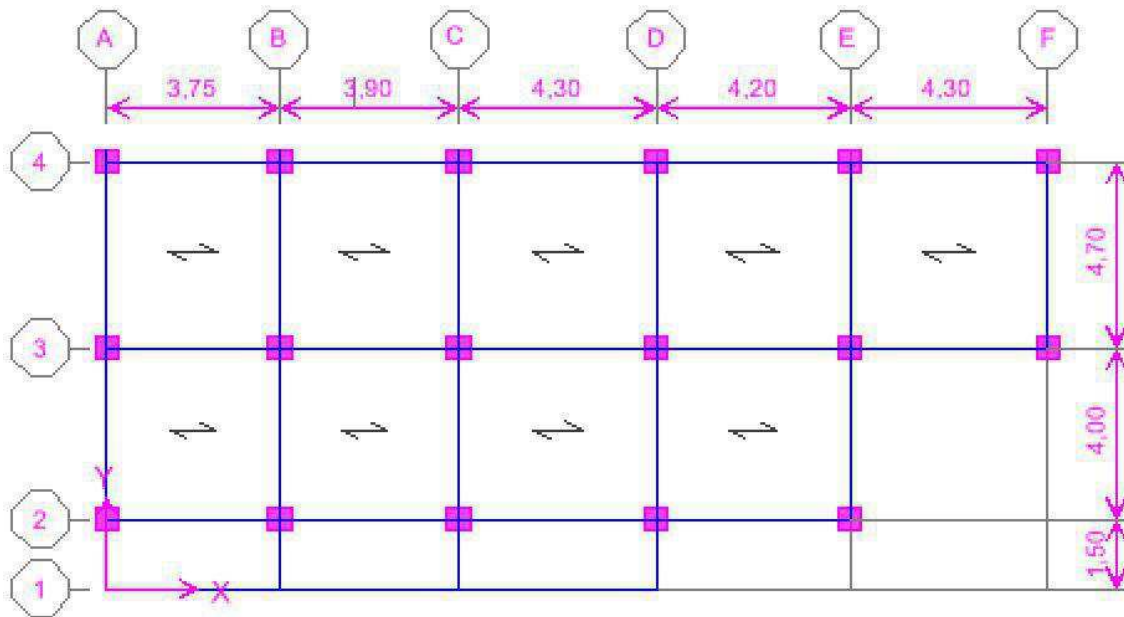


Figure II.23. Vue en plan de la structure.

Sachant que :

- La section des poteaux est de 30x40 ;
- La section des poutres porteuses est de 30x40 ;
- La section des poutres de chaînage est de 30x35 ;
- Les matériaux utilisés sont le béton le B30 et l'acier de nuance FeE 500 ;
- Les planchers sont en corps creux d'épaisseur 20cm ;
- Les balcons sont des dalles pleines d'épaisseur égale à 15cm ;
- La hauteur des étages est égale à 3.06m.

A travers les différentes commandes d'ETABS, on demande de :

1. Définir les différentes propriétés des matériaux utilisés dans ce projet.
2. Modéliser les différents composants de la structure en fonction des données citées ci-dessus.
3. Insérer les étages de la structure.
4. Attribuer les conditions aux limites (Diaphragme et appuis) aux éléments appropriés.

CHAPITRE .III. ATTRIBUTION DES CHARGES STATIQUES AUX ÉLÉMENTS DE DE LA STRUCTURE

VI

Définition des cas de charges statiques (Permanent et d'Exploitation)	32
Attribution des charges linéaires	33
Attribution des charges surfaciques aux éléments plaques	34
Combinaisons de charges	38
Exercice	38

1. Définition des cas de charges statiques (Permanent et d'Exploitation)

Cette option permet de définir plusieurs cas de charges et leurs types. ETABS permet de définir : les charges permanentes (*DEAD*), d'exploitations (*LIVE*), sismiques (*QUAKE*), du vent (*WIND*), de la neige (*SNOW*) et d'autres. La figure III.1 montre les différentes étapes qui permettent la définition des cas de charges statiques.

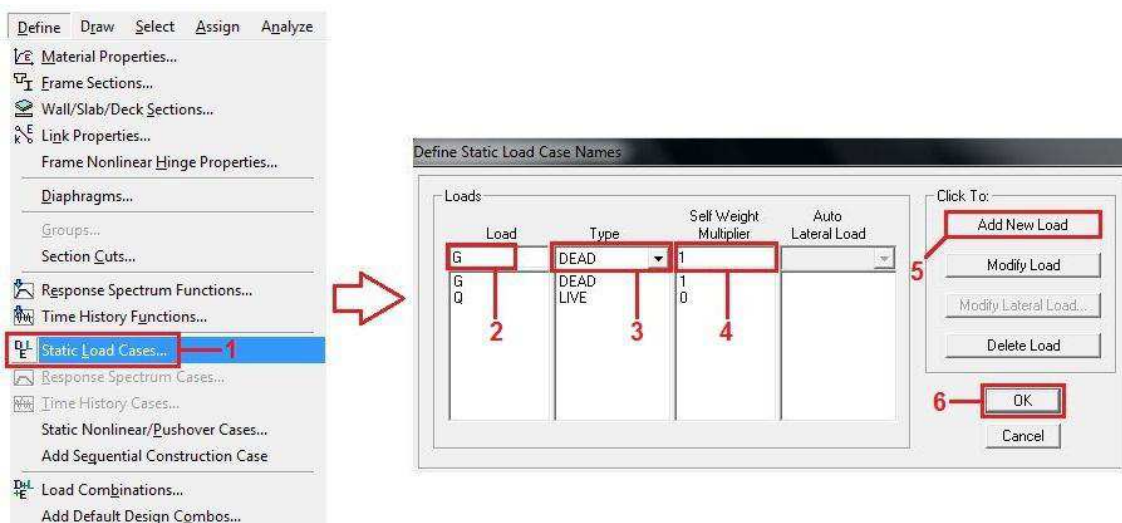


Figure III.1. Définition de cas de charges statiques.

Les étapes illustrées sur la figure III.1 peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define >Static Load Cases* " ;
2. Donner le nom du cas de charge. Dans notre cas, on saisit G pour les charges permanentes et Q pour les surcharges d'exploitation ;
3. Sélectionner le type de cas de chargement statique désiré, c.-à-d. la nature de la charge « poids propre ; permanentes ; vent ; neige et sismiques » ;
4. Saisir le coefficient de multiplication. Ce coefficient est utilisé que dans le cas des charges permanentes. Si ce coefficient est pris égal à 1, le poids propre de la structure sera estimé automatiquement par le logiciel, dans le cas contraire (le coefficient est égal à 0), le poids propre de la structure doit être calculé et introduit par l'opérateur. Pour les autres cas de charges, ce coefficient est pris égal à 0 ;
5. Cliquer sur la commande *Add New Load* pour ajouter d'autres cas de charges ;
6. Une fois la définition de cas de charges est terminée, on clique sur *OK* pour confirmer la création des cas de charges définis.

2. Attribution des charges linéaires

L'acrotère est un mur périphérique situé au sommet de la structure (terrasse) pour permettre le relevé d'étanchéité. L'acrotère est considérée comme une charge permanente et répartie d'une manière uniforme sur les poutres périphériques du plancher de terrasse de la structure. L'attribution des charges de l'acrotère s'effectue comme suit (Voir figure III.2) :

1. Sélectionner " *One Story* ", Cela permet d'appliquer les charges de l'acrotère au niveau du dernier étage ;
2. Cliquer par le bouton droit de la souris sur toutes les poutres périphériques du plancher de terrasse pour les sélectionner ;
3. Cliquer sur le menu principal " *Assign >Frame/Line Loads* " ;
4. Choisir " *Distributed ...* " c.-à-d. charge linéaire uniformément répartie ;
5. Choisir le type de la charge, dans le cas de l'acrotère on choisit " **G : charge permanente** " ;
6. Choisir l'unité de la charge à attribuer ;
7. Sélectionner la nature de la charge à attribuer (Forces ou Moments) ;
8. Sélectionner la direction de la charge " *Gravity* ", cela permet de suivre le sens gravitaire ;
9. Cocher l'option " *Replace Existing Loads* ", cette option est utilisée pour remplacer la nouvelle charge à attribuer par les anciennes charges affectées aux éléments sélectionnés ;
10. Saisir la valeur du poids propre de l'acrotère " $G = 0.1 \text{ t/ml}$ " ;
11. Cliquer sur *OK* pour confirmer l'affectation de la charge de l'acrotère aux poutres sélectionnées (Voir figure III.2).

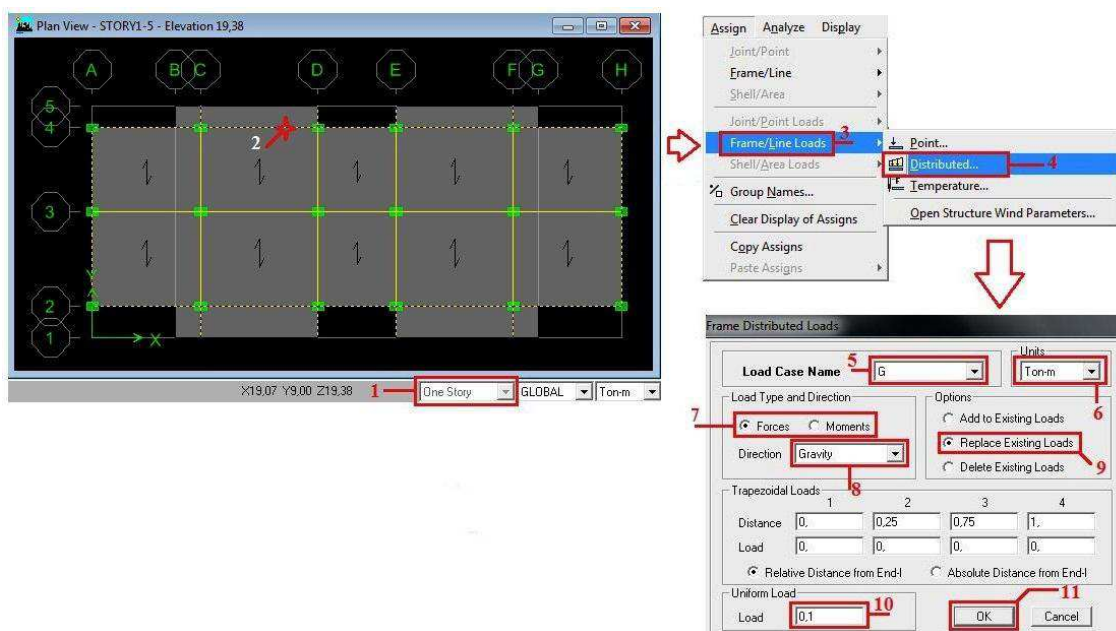


Figure III.2. Attribution des charges de l'acrotère aux poutres périphériques du plancher de terrasse.

3. Attribution des charges surfaciques aux éléments plaques

L'ETABS permet de spécifier les charges surfaciques sur les éléments bidimensionnels (plaques). Ces charges surfaciques sont uniformément réparties par m^2 selon les axes locaux ou globaux de la structure. Les charges d'exploitation sont définies par le DTR BC 2.2 selon l'usage de l'ouvrage. Dans notre cas, elles sont de l'ordre de $0.15 t/m^2$ pour l'étage courant, $0.1 t/m^2$ pour le plancher de terrasse et $0,35 t/m^2$ pour les balcons. Dans ce qui suit, nous présenterons les différentes instructions qui conduisent à l'affectation des charges surfaciques aux éléments plaques

3.1. Attribution des charges d'exploitation aux planchers (étages courants et étage de terrasse)

Avant d'attribuer les surcharges d'exploitation aux planchers de la structure, il faut tout d'abord les sélectionner. La figure III.3 montre la procédure de sélection des planchers (étages courants et terrasse).

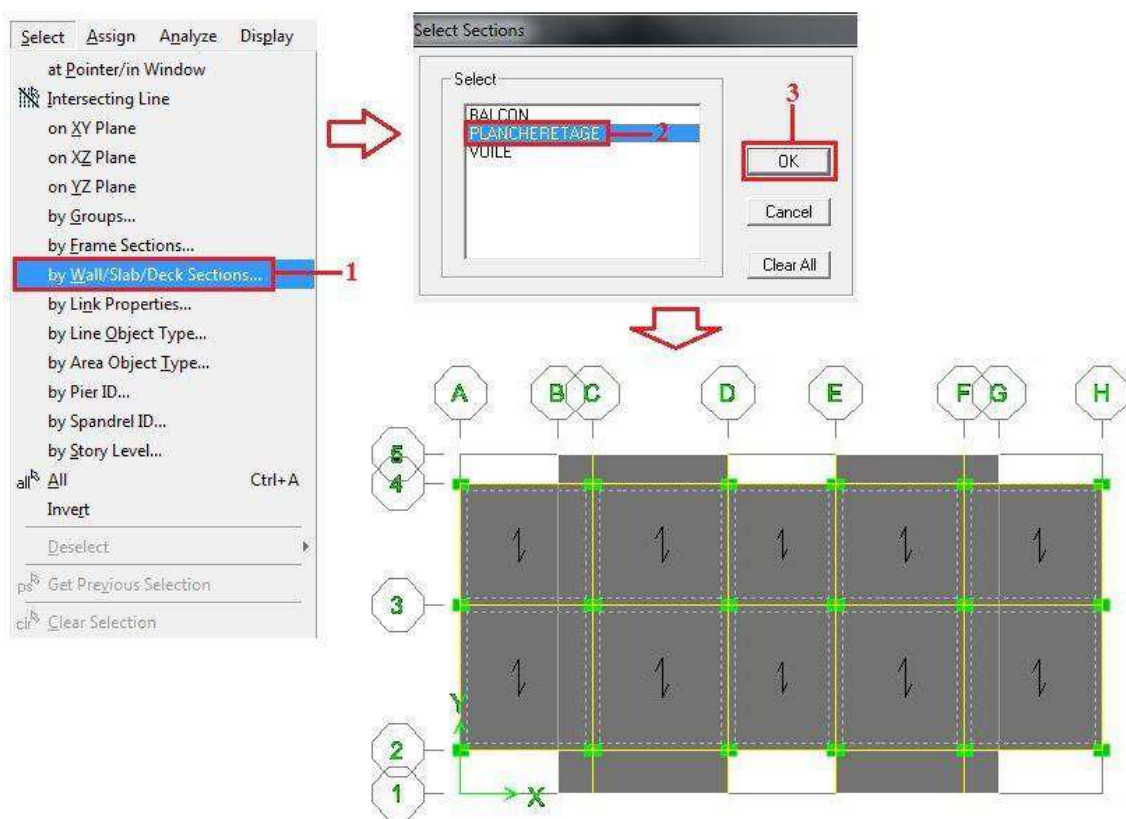


Figure III.3. Procédure de sélection des planchers.

Les instructions illustrées sur la figure III.3. peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Select > by Wall/Slab/Deck Sections ...* " ;
2. Choisir l'élément plaque à sélectionner (dans ce cas, on sélectionne **PLANCHER ETAGE**) ;
3. Cliquer sur **OK** pour confirmer la sélection de tous les planchers de la structure.

Une fois tous les planchers sont sélectionnés, on suivra les instructions de la figure III.4 pour attribuer la charge d'exploitation aux planchers :

1. Cliquer sur le menu principal " *Assign > Shell/Area Loads* " ;
2. Cliquer **Uniform** , une fenêtre qui s'affiche et permet la saisie des paramètres de la charge à attribuer ;
3. Choisir l'unité de la charge à attribuer ;
4. Choisir le type de la charge, dans ce cas, on choisit "**Q : charge d'exploitation**" ;

5. Cocher l'option " *Replace Existing Loads* ", cette option est utilisée pour remplacer la nouvelle charge à attribuer par les anciennes charges affectées aux éléments sélectionnés ;
6. Saisir la valeur de la charge " $Q = 0.15 \text{ t/m}^2$ " ;
7. Sélectionner la direction de la charge " *Gravity* ", cela permet de suivre le sens gravitaire ;
8. Cliquer sur **OK** , l'affectation de la charge d'exploitation aux planchers se traduit par l'apparition des valeurs de la charge sur la vue en plan des plancher (Voir figure III.4).

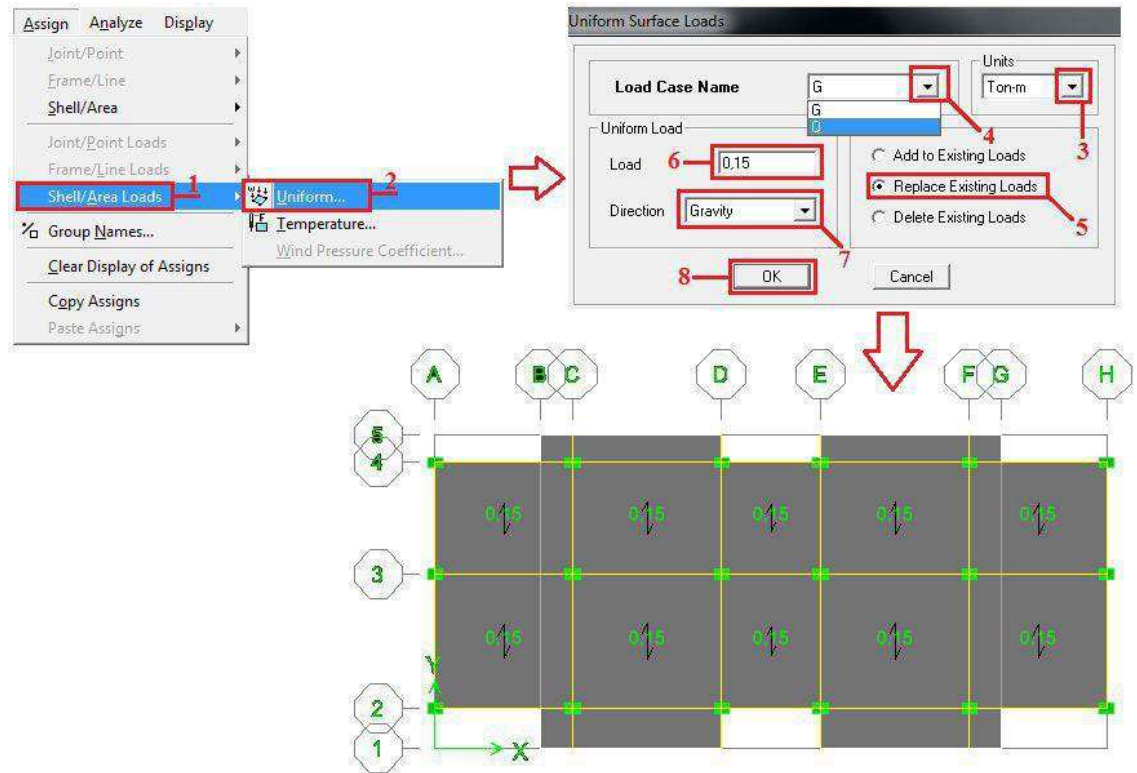


Figure III.4. Attribution des charges d'exploitation aux planchers.

3.2. Attribution des charges d'exploitation aux balcons

Avant d'attribuer les surcharges d'exploitation aux balcons, il faut tout d'abord les sélectionner. La figure III.5 montre la procédure de sélection des balcons.

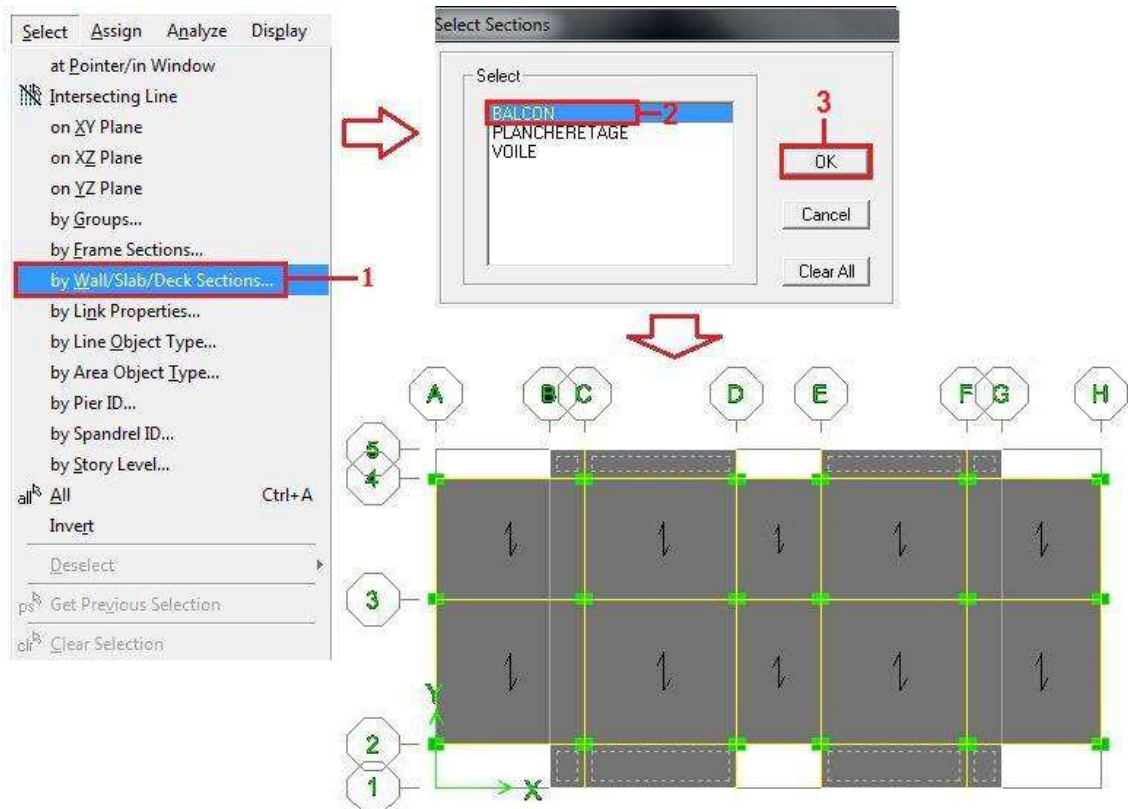


Figure III.5. Procédure de sélection des balcons.

Les instructions illustrées sur la figure III.5. peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Select >by Wall/Slab/Deck Sections ...* " ;
2. Choisir l'élément plaque à sélectionner (dans ce cas, on sélectionne **BALCON**) ;
3. Cliquer sur **OK** pour confirmer la sélection de tous les balcons de la structure.

Une fois tous les balcons sont sélectionnés, on suivra la étapes suivantes (figure III.6) pour attribuer la charge d'exploitation aux balcons :

1. Cliquer sur le menu principal " *Assign >Shell/Area Loads* " ;
2. Cliquer **Uniform** , une fenêtre qui s'affiche et permet la saisie des paramètres de la charge à attribuer ;
3. Choisir l'unité de la charge à attribuer ;
4. Choisir le type de la charge, dans ce cas, on choisit "**Q : charge d'exploitation**" ;
5. Cocher l'option " *Replace Existing Loads* ", cette option est utilisée pour remplacer la nouvelle charge à attribuer par les anciennes charges affectées aux éléments sélectionnés ;
6. Saisir la valeur de la charge " **Q = 0.35 t/m²** " ;
7. Sélectionner la direction de la charge " *Gravity* ", cela permet de suivre le sens gravitaire ;
8. Cliquer sur **OK** pour confirmer l'affectation de la charge d'exploitation aux balcons (Voir figure III.6).

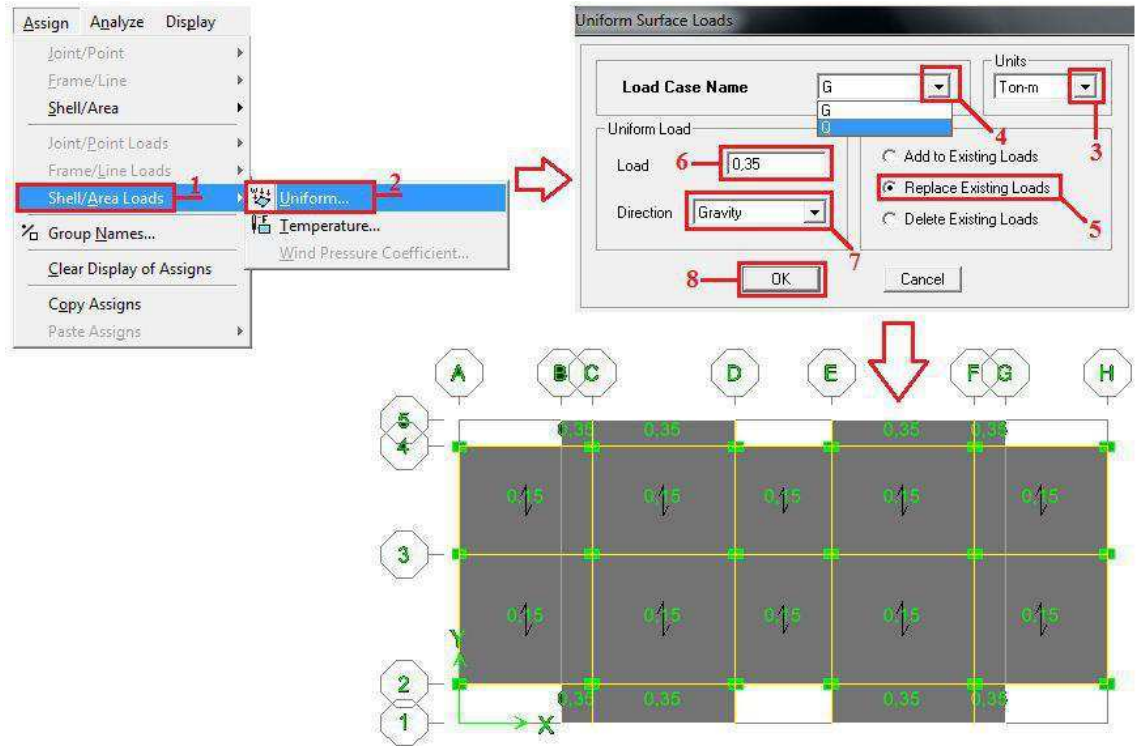


Figure III.6. Attribution des charges d'exploitation aux balcons.

3.3. Attribution des charges d'exploitation au plancher de terrasse

Étant donné la surcharge d'exploitation du plancher de terrasse vaut 0.1 t/m^2 , il est indispensable de remplacer les charges d'exploitation précédentes du plancher de terrasse par la valeur 0.1 t/m^2 (c.-à-d. 0.1 t/m^2 au niveau des balcons et des planchers). La figure III.7 illustre les étapes qui permettent de changer la charge d'exploitation au niveau du plancher de terrasse

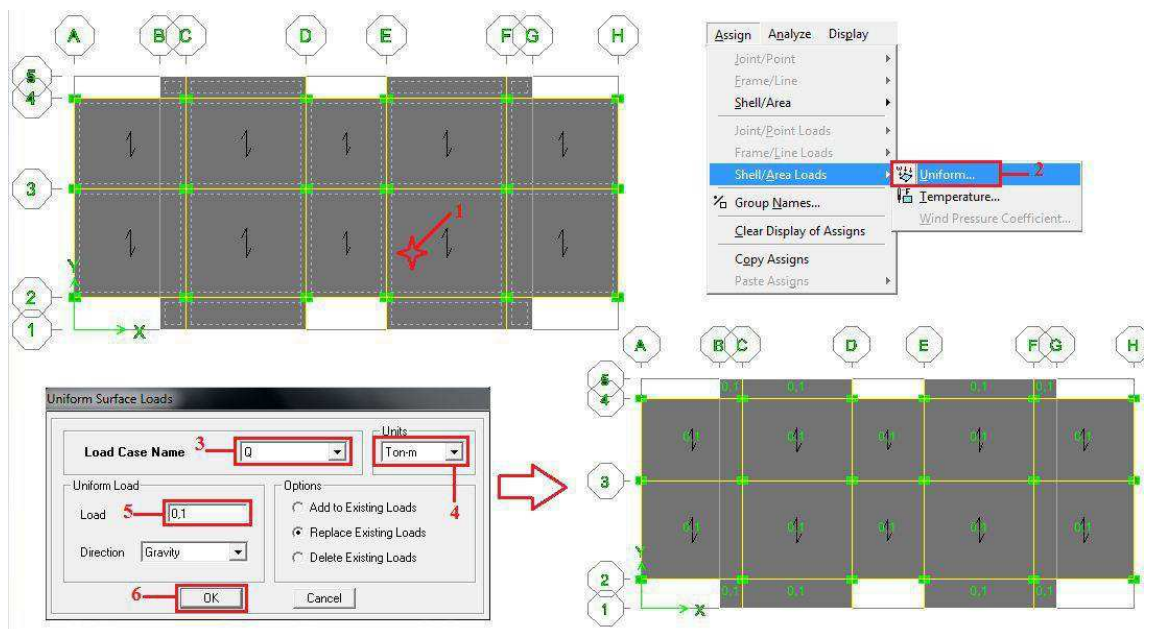


Figure III.7. Attribution des charges d'exploitation au plancher de terrasse.

Les instructions illustrées sur la figure III.7 peut être détaillées comme suit :

1. Cliquer par le bouton droit de la souris sur tous les balcons et les planchers du dernier niveaux pour les sélectionner ;
2. Cliquer sur le menu principal " *Assign > Shell/Area Loads > Uniform* " ;
3. Choisir le type de la charge, dans ce cas, on choisit " *Q : charge d'exploitation* " ;

4. Choisir l'unité de la charge à attribuer ;
5. Spécifier la valeur de la charge " $Q = 0.1 \text{ t/m}^2$ " ;
6. Cocher l'option " *Replace Existing Loads* ", cela permet de remplacer la nouvelle charge à attribuer par les anciennes charges affectées aux éléments sélectionnés (c.-à-d $Q = 0.1 \text{ t/m}^2$ pour les planchers et les balcons au lieu de $Q = 0.15 \text{ t/m}^2$ pour les planchers et $Q = 0.35 \text{ t/m}^2$ pour les balcons) ;
7. Sélectionner la direction de la charge " *Gravity* ", puis cliquer sur *OK* pour confirmer l'affectation de la charge d'exploitation au niveau de la terrasse.

4. Combinaisons de charges

Pour déterminer les sollicitations au niveau des éléments de la structure, on utilise les combinaisons d'actions proposées par les règlements CBA 93 et RPA 99 V2003. L'ETABS permet d'introduire les combinaisons de charges en multipliant chaque cas de charge par son coefficient de majoration afin d'établir le cas de chargement le plus défavorable. Pour l'analyse statique on distingue : l'état limite ultime (E.L.U) l'état limite de service (E.L.S). La figure III.8 montre la procédure de définition des combinaisons de charges E.L.U. et E.L.S.

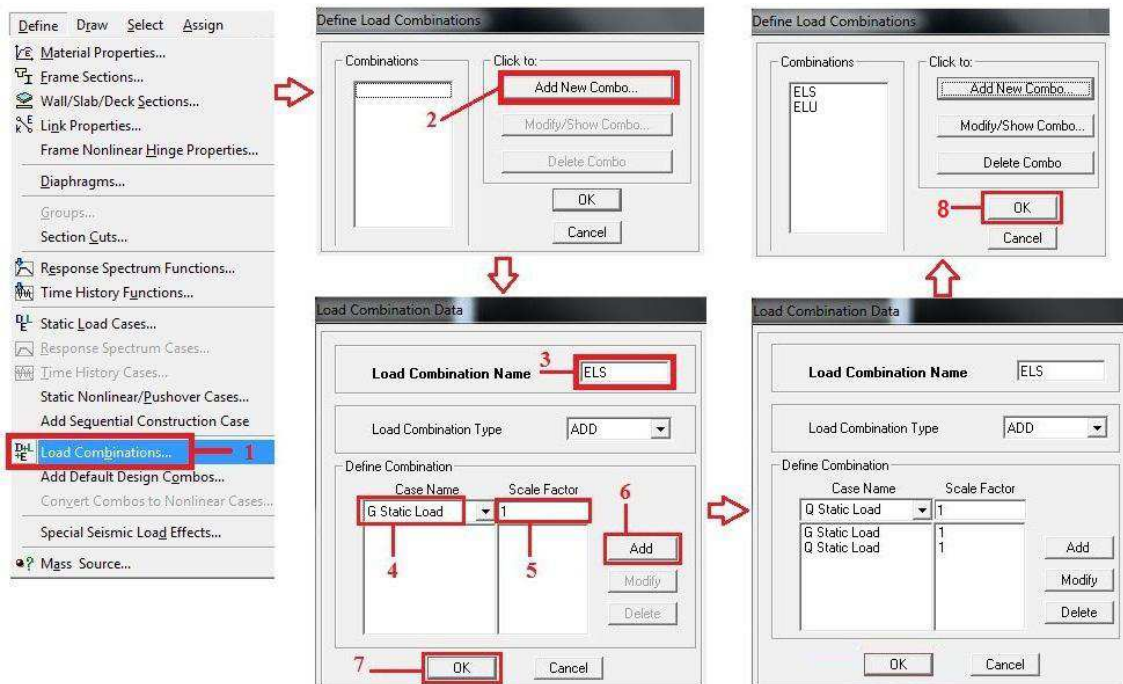


Figure III.8. Saisie graphique des combinaisons de charges.

Pour définir les combinaisons d'actions, on suit les étapes suivantes (figure III.8) :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define > Load Combinations ...* " ;
2. Cliquer sur " *Add New Combo...* " ;
3. Spécifier le nom de la combinaison ;
4. Spécifier le cas de chargement ;
5. Saisir le coefficient de majoration ;
6. Cliquer sur " *Add* " puis reprendre les étapes 3, 4, 5 et 6 pour ajouter le deuxième cas de charge ;
7. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la création de la combinaison ;
8. Cliquer sur " *OK* " après la définition de toutes les combinaisons de charges.

5. Exercice

Soit la structure illustrée sur la figure II.23 (Chapitre II, § 3). On demande de :

1. Déterminer les différentes valeurs de la charge d'exploitation "Q" à travers le DTR B-C 2.2.
2. Affecter les charges d'exploitation aux différents éléments de la structure.
3. Définir les combinaisons de charges statiques permanentes selon le règlement RPA 99 V2003.

CHAPITRE .IV. ANALYSES STATIQUE ET DYNAMIQUE DE STRUCTURES

VII

Analyse statique linéaire	39
Méthode statique équivalente	40
Analyse dynamique de la structure	44
Exercice	55

1. Analyse statique linéaire

Un calcul statique linéaire permet de déterminer le champ de déplacements, les réactions aux appuis, les efforts internes aux nœuds et le champ de contraintes qui existent dans une structure soumise à divers chargements statiques (charges permanentes et surcharges d'exploitation). Plusieurs hypothèses sont prises en considération d'une manière implicite lors de l'analyse statique, à savoir:

- Comportement élastique linéaire des matériaux ;
- Petites déformations ;
- Petites rotations.

L'analyse statique linéaire est basée sur la méthode des déplacements qui consiste à satisfaire les forces d'équilibre et les compatibilités des déplacements de chaque nœud du modèle de la structure. Afin de réaliser l'analyse complète de la structure, la matrice de rigidité est obtenue par la superposition des contributions des différentes rigidités des barres et des éléments constituant la structure. Le vecteur force est composé des charges externes réparties aux nœuds de la structure. Le système d'équation à plusieurs inconnus (déplacement) ainsi obtenu est résolu en utilisant la méthode de décomposition de Cholesky qui est bien adapté pour ce type de problèmes. Pour effectuer ce type d'analyse, il suffit d'attribuer les charges statiques (charges permanentes et surcharges d'exploitation) aux différents éléments de la structure puis lancer le calcul (Voir figure IV.1).

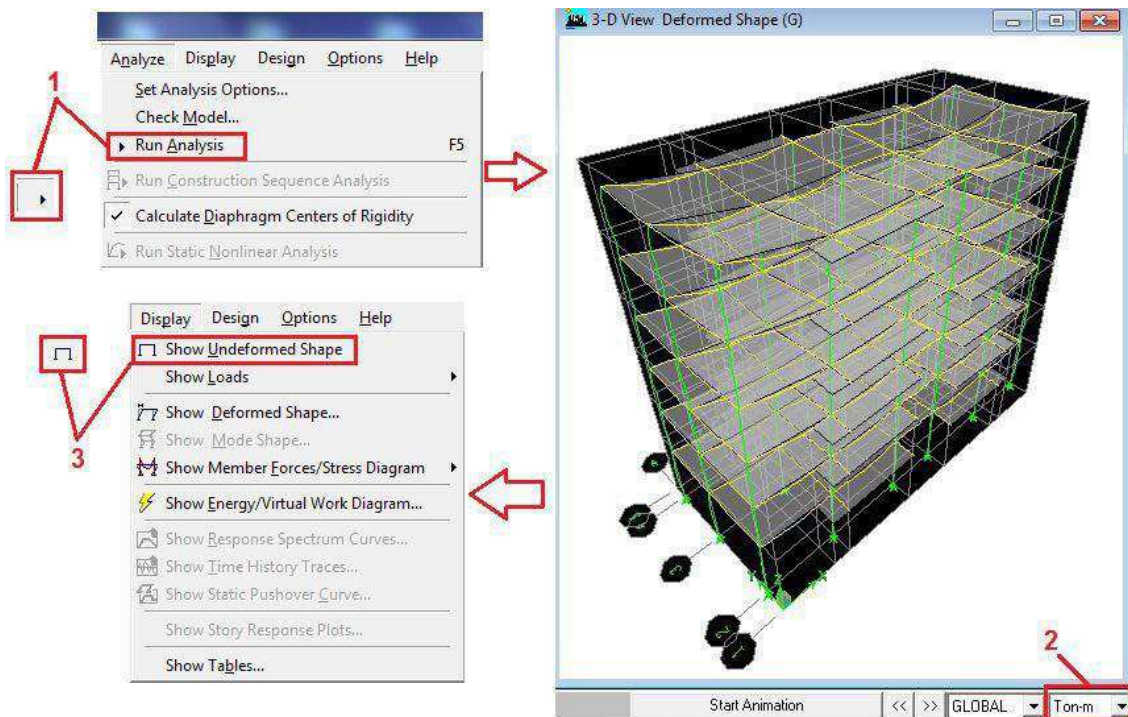


Figure IV.1. Lancement de l'analyse statique linéaire.

La figure IV.1 résume les différentes étapes qui permettent d'effectuer l'analyse statique linéaire :

1. Cliquer sur le menu principal " *Analyze >Run Analysis* " ou par l'intermédiaire de la touche " *F5* " du clavier ou par l'icône figurée dans l'espace de travail ;
2. Une fois l'analyse statique est terminée, la déformée de la structure apparaît en 3D puis il faut changer l'unité pour pouvoir exploiter les résultats ;
3. Cliquer dans l'espace de travail 2D ou 3D puis sur le menu principal " *Display >Show Undeformed Shape* " ou par l'icône figurée dans l'espace de travail pour montrer et restaurer la forme non déformée de la structure.

2. Méthode statique équivalente

Introduction

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes, à savoir :

- La méthode statique équivalente ;
- La méthode d'analyse modale spectrale ;
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

La méthode statique équivalente permet l'analyse statique d'une structure sous l'effet d'un système de forces statiques équivalentes à celui de l'action sismique. La méthode statique équivalente si la structure répond aux conditions prescrites dans l'article 4.1.2. du règlement RPA 99 V2003.

Pour cette méthode, les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique. Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projecteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

Il faut souligner toutefois que les forces et les déformations obtenues pour l'élément à partir des méthodes d'analyse statiques pour les charges de conception recommandées sont inférieures aux forces et aux déformations qui seraient observées sur la structure sous les effets d'un séisme majeur pour lequel les charges ont été spécifiées. Ce dépassement des forces est équilibré par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément.

C'est pourquoi l'utilisation de cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- Une ductilité suffisante ;
- La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures.

2.1. Calcul de la force sismique totale

La force sismique totale "V", appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule (4.1) de l'article 4.2.3 du RPA 99 V2003 (Voir figure IV.2).

4.2.3. Calcul de la force sismique totale

$$V = \frac{A.D.Q}{R} W \quad (4.1)$$

A : coefficient d'accélération de zone

D : facteur d'amplification dynamique moyen

R : coefficient de comportement global de la structure

Q : facteur de qualité

W : poids total de la structure

Figure IV.2. Calcul de la force sismique totale.

2.2. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules (4.10 et 4.11) de l'article 4.2.5 et 4.2.6 du RPA 99 V2003 (Voir figure IV.3).

$$V = F_t + \sum F_i \quad (4-10)$$

$$F_i = \frac{(V - F_t) W h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (4-11)$$

Figure IV.3. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur.

La force concentrée " F_t " au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule suivante :

$$F_t = 0,07 \times T \times V$$

où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de Ft ne dépassera en aucun cas 0,25 V et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à 0,7 secondes. La partie restante de V soit (V - Ft) doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule la formule (4.11) de l'article 4.2.5 du RPA 99 V2003 (Voir figure IV.3).

Une fois toutes les forces sismiques sont calculées, on procède à les définir puis les appliquer sur l'ensemble des niveaux de la structure. La figure IV.4 illustre les différentes étapes permettant la définition et l'affectation des forces sismiques.

2.3. Définition et attribution des forces statiques fictives

Avant de lancer l'analyse par la méthode statique équivalente, les forces statiques fictives doivent être définies et attribuées aux différents niveaux de la structure selon les étapes des figures IV.4 et IV.5.

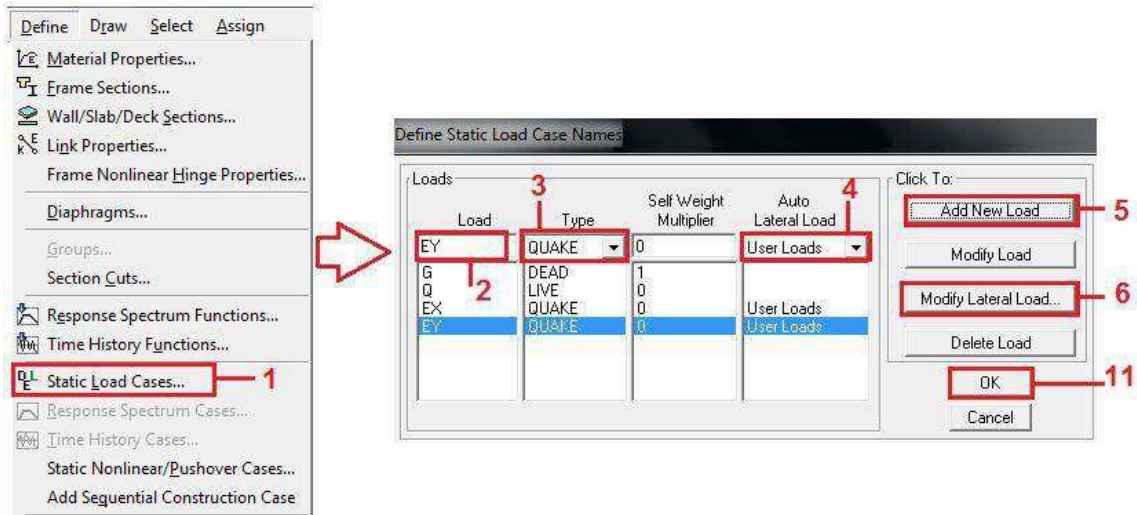


Figure IV.4. Définition des cas de forces statiques fictives.

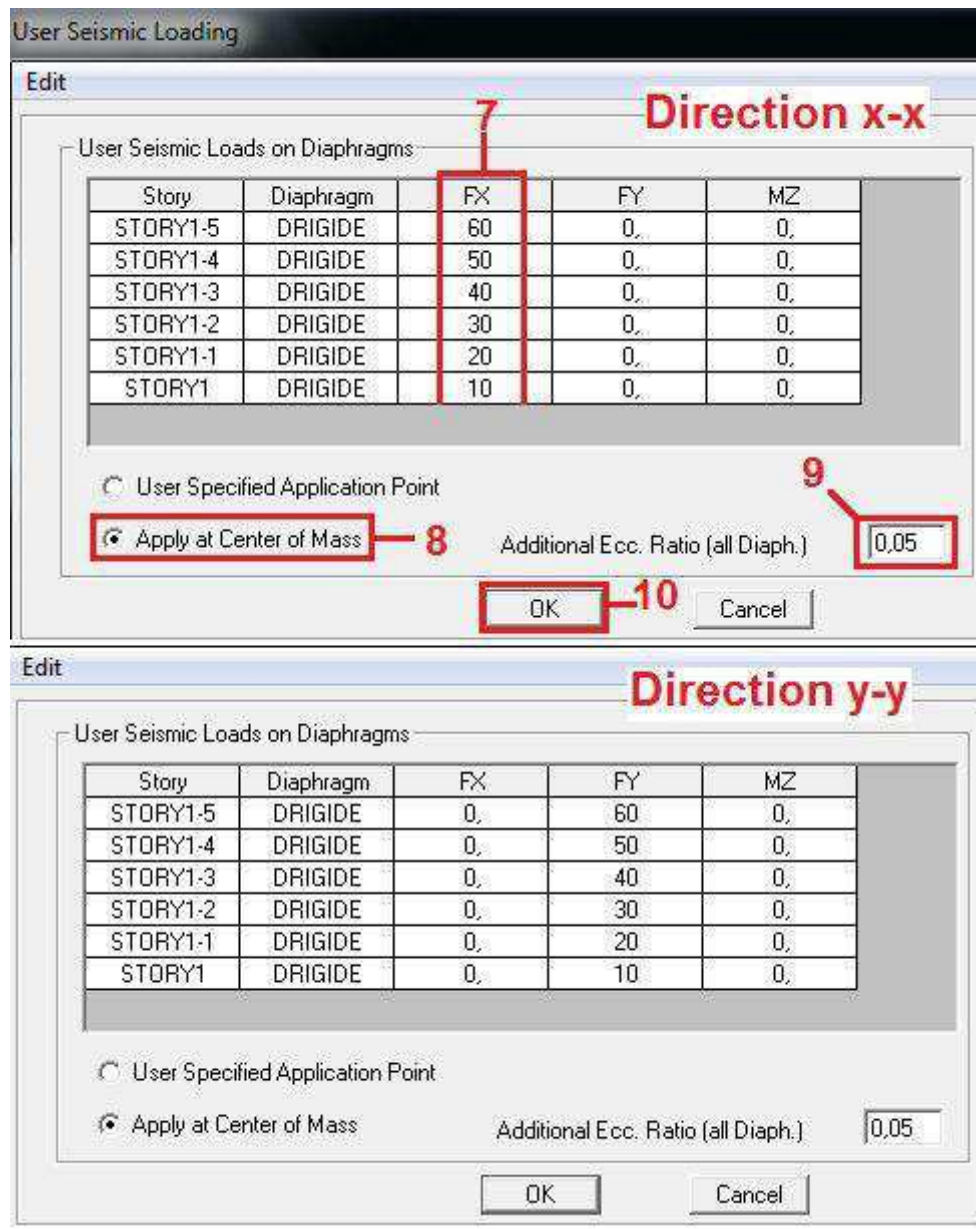


Figure IV.5. Attribution de forces statiques fictives aux étages de la structure.

Les étapes illustrées sur la figure IV.4 et IV.5 peuvent être résumées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define > Static Load Cases* " ;
2. Donner le nom du cas de chargement. Dans notre cas, on saisit **Ex** les forces agissant dans la direction (x-x) et **Ey** pour le cas des forces agissant dans la direction (y-y) ;
3. Sélectionner le type du cas de chargement statique désiré, c.-à-d. la nature de la charge « **QUAKE** » ;
4. Pour pouvoir distribuer les forces sismiques fictives selon la hauteur de la structures il faut activer la commande " *Auto Lateral Load* " ;
5. Cliquer sur la commande " *Add New Load* " pour ajouter le cas de charge selon les directions (x-x) et (y-y) ;
6. Une fois la définition de cas de charges est terminée, on clique sur la commande " *Modify Lateral Load* " pour affecter les forces sismiques aux différents niveaux de la structure ;
7. Saisir les forces sismiques calculées selon la figure IV.3, pour le cas de chargement **Ex** puis pour le cas de chargement **Ey** ;
8. Cocher la commande " *Apply at Center of Mass* ", cette dernière permet d'appliquer les forces sismiques au niveau des planchers car ces derniers sont considérés rigides dans leur plan ;
9. L'augmentation de l'effort tranchant provoqué par la torsion d'axe vertical due à l'excentricité entre le centre de masse et le centre de rigidité doit être prise en compte, en cochant la commande " *Additional Ecc. Ratio (all Diaph)* ". Pour toutes les

structures comportant des planchers ou diaphragmes horizontaux rigides dans leur plan, on supposera qu'à chaque niveau et dans chaque direction, la résultante des forces horizontales a une excentricité par rapport au centre de torsion égale à 5% de la plus grande dimension du bâtiment à ce niveau (Article 4.2.7 du RPA 99 V2003) ;

10. Cliquer sur **OK** pour confirmer l'attribution des forces sismiques fictives au niveau des planchers ;
11. Cliquer sur **OK** pour confirmer la définition et l'attribution des forces sismiques fictives au niveau des planchers dans les deux directions de calcul.
12. Lancer le calcul de la méthode statique équivalente selon la figure IV.1.

3. Analyse dynamique de la structure

Pendant un séisme, une construction reçoit des charges verticales qui, comme les charges horizontales doivent être transmises jusqu'au sol d'assise de la construction. Pour ce faire, deux approches sont possibles :

- Structures auto-stables : les descentes de charges horizontales passent par les mêmes éléments de structure que les charges verticales (murs, coques, treillis tridimensionnels, portiques croisés...)
- Structures contreventées : les descentes de charges horizontales passent par des dispositifs spécifiques (systèmes articulés + contreventements...).

L'absence de contreventement et une concentration de contraintes trop élevée en tête de poteaux sont parmi les principaux facteurs de ruine en cas de séisme, d'où une étude parasismique est indispensable afin de remédier à ce problème. Une bonne étude dynamique (vis-à-vis des séisme) permet d'avoir un bon comportement de la structure c.-à-d. une structure capable de reprendre et dissiper les efforts sismiques sans qu'elle s'effondre. Dans ce qui suit nous présenterons les différentes analyses dynamiques supportées par ETABS.

3.1. Analyse modale

Introduction

L'analyse modale permet de déterminer les modes propres de vibrations de la structure et leurs périodes. Puisqu'il n'existe aucune force extérieure, les périodes naturelles et les modes propres sont directement en fonction de la rigidité et de la distribution des masses de la structures (ils sont indépendants du séisme). Par conséquent, le résultat du calcul des périodes et des modes propres peut varier considérablement en fonction de la modélisation des masses. Avant de lancer l'analyse modale, il est nécessaire de transformer les chargements statiques en masses pour l'étude dynamique d'une manière automatique à partir des charges statiques ($\mathbf{G} + \beta \mathbf{Q}$). La figure IV.6 illustre la procédure de transformation des charges statiques en masses.

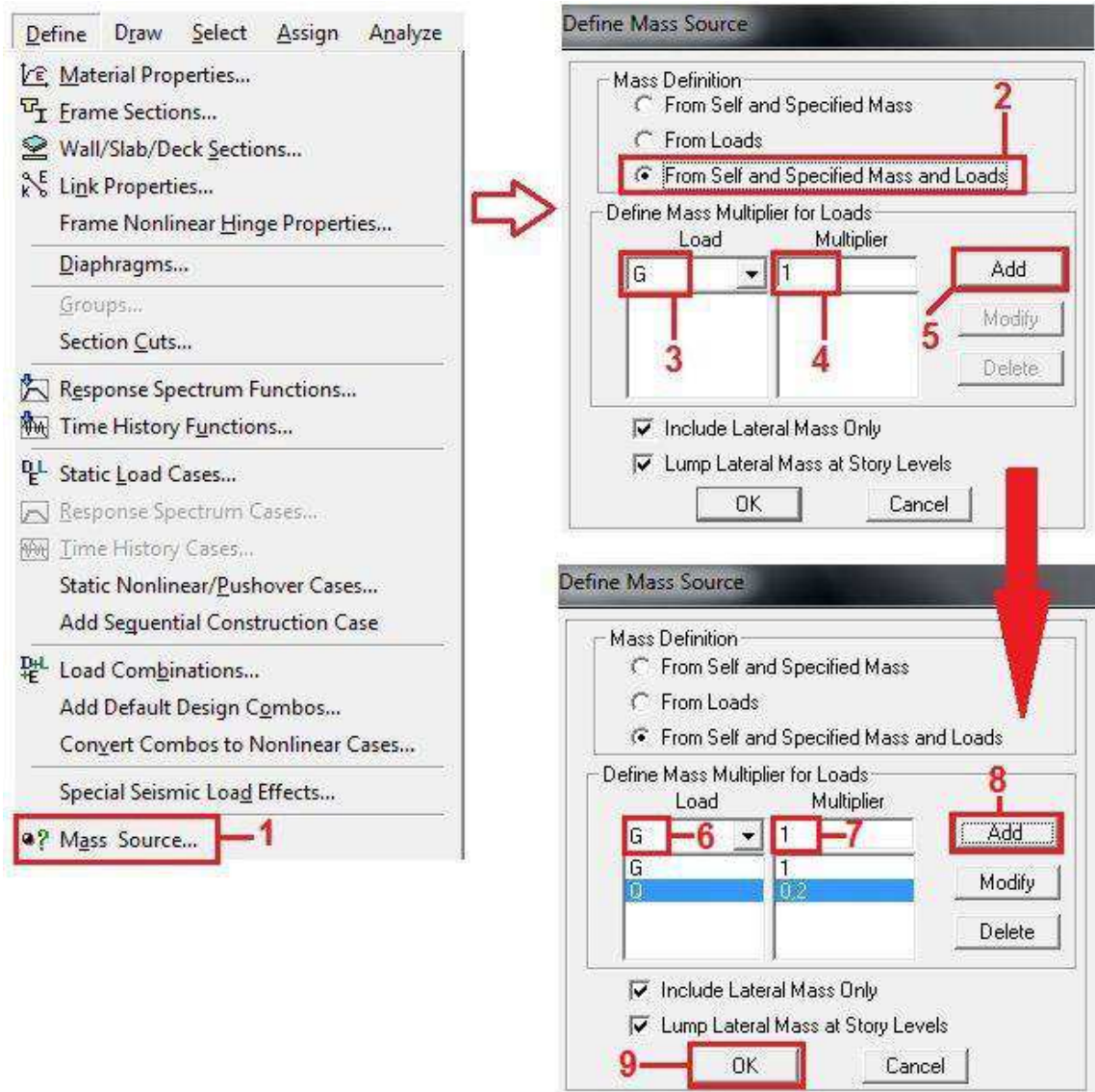


Figure IV.6. Transformation des chargements statiques en masses.

Les chargements statiques ont été transformés en masses, selon l'article 4.2.3 du R.P.A. 99 version 2003, comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define > Mass Source* " ;
2. Cocher l'option " *From Self and Specified Mass and Loads* " ;
3. A l'aide de la liste déroulante, sélectionner les cas de chargement dans lesquels trouvent les charges à convertir en masses ;
4. Préciser le coefficient qui permet de définir la quantité de charges à convertir en masses ;
5. Cliquer sur " *Add* " pour valider tous les paramètres de conversion des chargements statiques en masses ;
6. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la transformation des chargements statiques en masses.

Une fois tous ces facteurs sont introduits, on procède à la définition des paramètres de l'analyse modale (Voir figure IV.7).

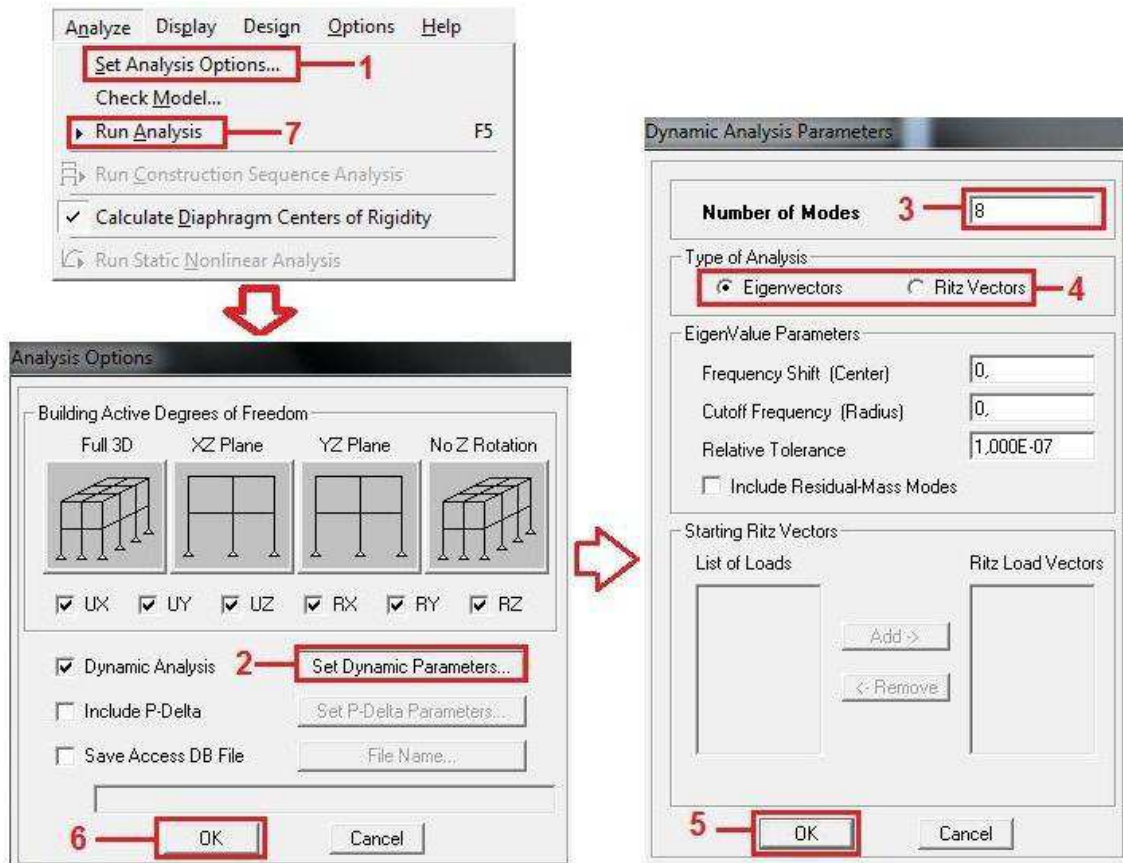


Figure IV.7. Paramètres de l'analyse modale.

Les instructions illustrées sur la figure IV.7 peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Analyze >Set Analysis Options...* " puis sélectionner l'icône " *Full 3D* " ;
2. Cocher " *Dynamic Analysis* " puis cliquer sur la commande " *Set Dynamic Parameters* " ;
3. Supposer un nombre de modes (de préférence on prend un nombre supérieur au nombre d'étages), ce nombre sera augmenté ou réduit en fonction des résultats obtenus (c.-à-d. après l'exploitation des résultats) ;
4. Cocher l'option " *Eigenvectors* ", cela permet de rechercher les modes propres de la structure ;
5. Cliquer sur " *OK* " ;
6. Cliquer sur " *OK* " ;
7. Lancer l'analyse à partir du menu principal " *Analyze >Run Analysis* ".

Après l'exécution de l'analyse modale, on commence à visualiser les premiers modes propres afin de voir le comportement de la structure. La visualisation des modes propres s'effectue comme suit (figure IV.8) :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display >Show Mode Shape* " ou par l'icône figurée dans l'espace de travail ;
2. Spécifier le numéro de mode propre à visualiser ;
3. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser la déformée du mode propre choisi.

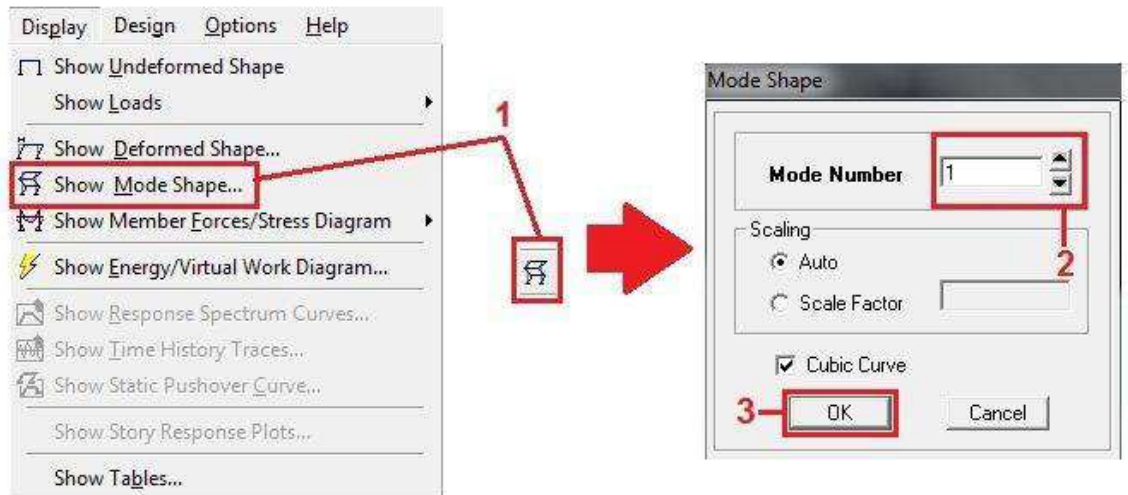


Figure IV.8. Visualisation des modes propres.

Les figures IV.9 et IV.10 montrent les deux premiers modes propres de la structure.

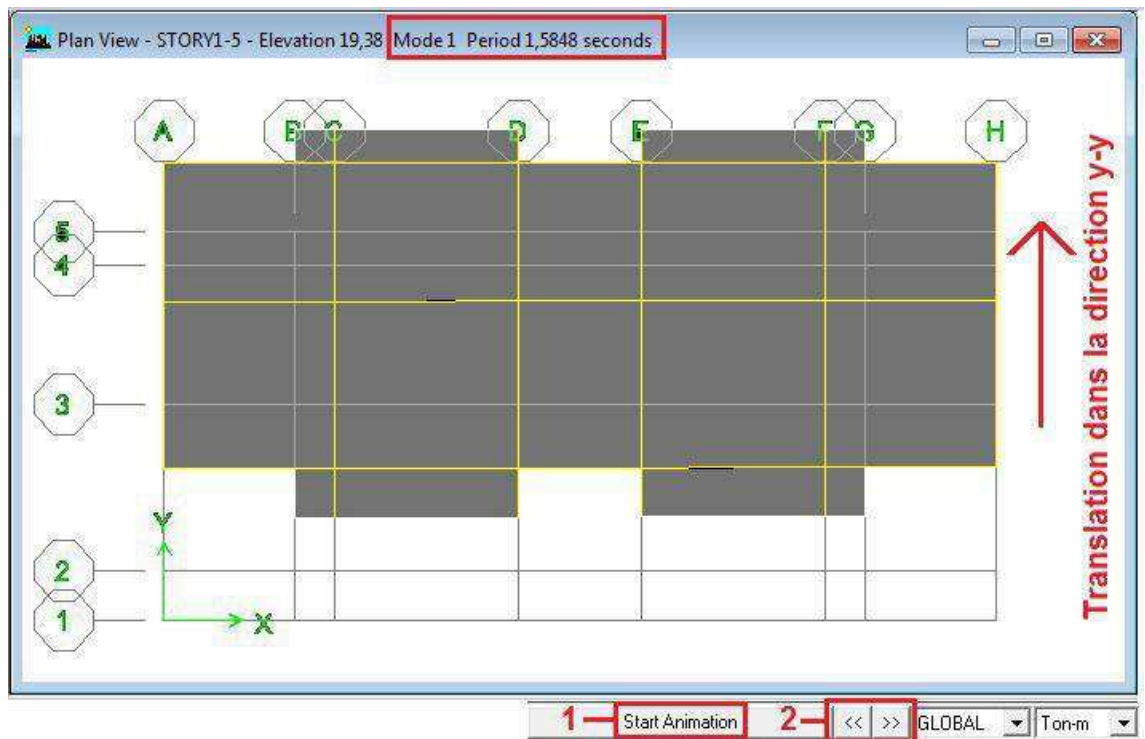


Figure IV.9. Déformée du premier mode de vibration.

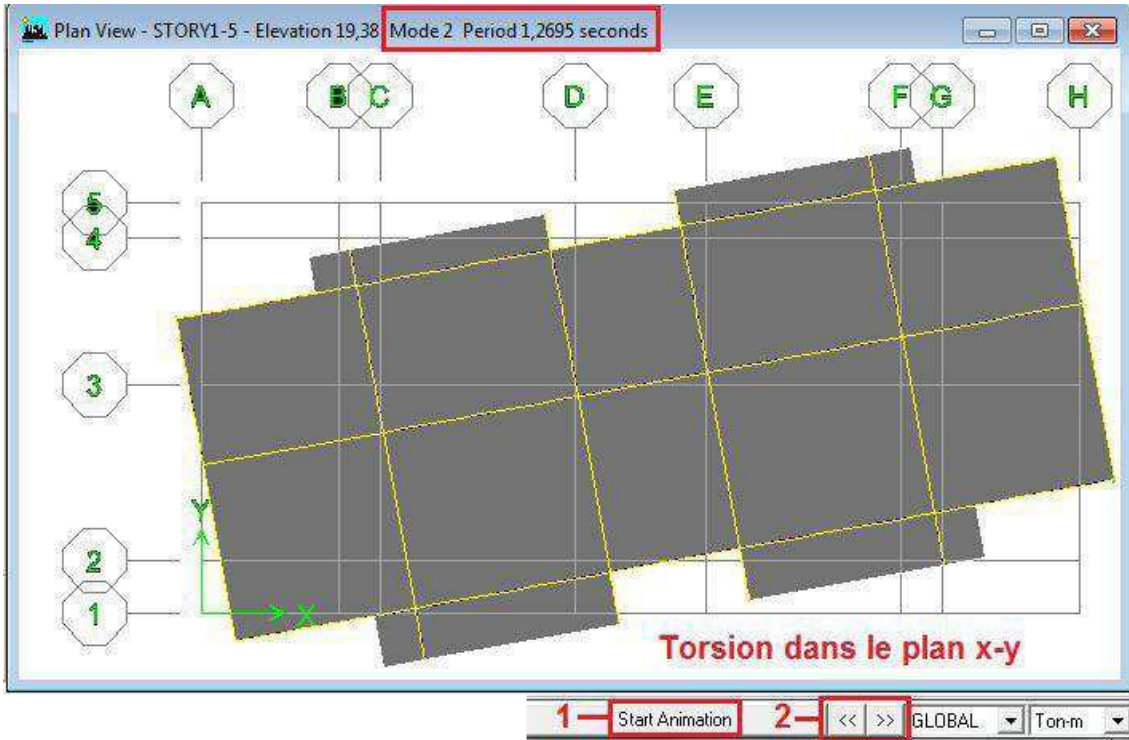


Figure IV.10. Déformée du deuxième mode de vibration.

D'après les figures IV.9 et IV.10, on remarque ce qui suit :

- L'animation des modes propres peut être activée tout en cliquant sur la **commande 1 " Start Animation "** ;
- Le passage d'un mode à l'autre s'effectue par la **commande 2** (deux flèches de transition) ;
- Le premier mode de vibration est une translation dans la direction y-y, ce qui est préférable ;
- Le deuxième mode de vibration est une torsion dans le plan x-y, ce qui est indésirable ;
- Selon l'article 4.2.4 du R.P.A. 99 V2003, la période du mode fondamentale de la structure (premier mode, $T = 1,58$ s) est supérieure à celle recommandée par R.P.A. 99 V2003 ($1,3 \times T_{R.P.A.} = 0,60$ s).

Pour avoir un bon comportement des structures vis-à-vis des efforts horizontaux (séismes), il faut respecter les conditions exigées par les règlements parasismiques, à savoir :

- La valeur de la période T , calculée à partir la méthode modale, ne doit pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30% ;
- Assurer une translation dans les deux premiers modes de vibration.

Pour atteindre tous ces objectifs, il est indispensable d'utiliser un système de contreventement adéquat pour rendre la structure rigide et résistante aux efforts horizontaux dans leur plan et pour assurer la descente des charges dynamiques vers les fondations. Dans notre cas, des voiles en béton armé seront utilisés pour assurer le contreventement de notre structure.

La disposition des voiles se fera de telle sorte à répondre aux exigences réglementaires (R.P.A. 99 version 2003) et architecturales. En assurant une translation dans les deux premiers modes de vibration. Mais le défi majeur est des respecter les plans architecturaux pour éviter toutes modifications au niveau des plans.

En effet, cette disposition respectera les principes de base de la conception parasismique, à savoir :

- Éviter les rez-de-chaussée et les étages flexibles ;
- Éviter les contreventements dissymétriques ;
- Éviter les contreventements décalés ;
- Insérer les contreventements dans la périphérie de la structure pour réduire l'effet de torsion ;
- Éviter les sauts de rigidité et de résistance.

Les figures IV.11 et IV.12 montrent la procédure d'insertion des voiles de contreventement.

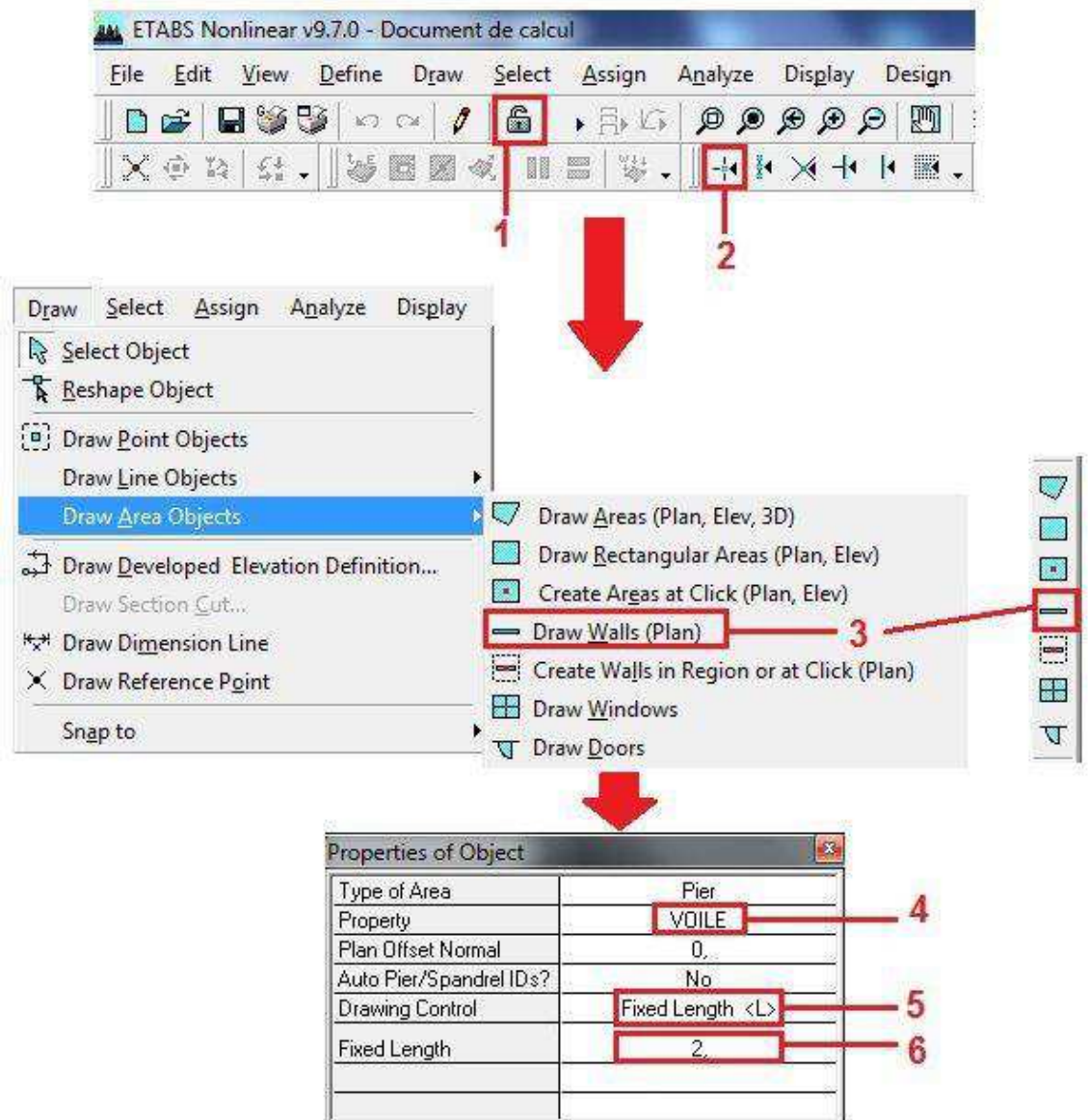
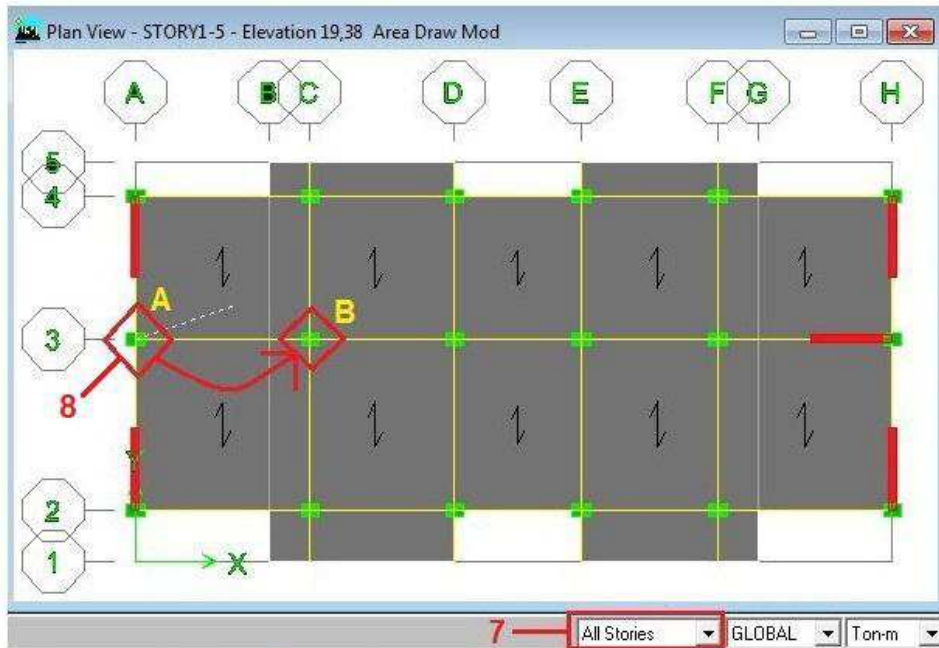


Figure IV.11. Insertion des voiles de contreventement (Partie 1).



- Il faut refaire l'étape 5 pour insérer les voiles au niveau des zones choisies;
- Cliquer sur le point A puis le point B pour créer le voile.

Figure IV.12. Insertion des voiles de contreventement (Partie 2).

Les étapes illustrées sur les figures IV.11 et IV.12 peuvent être décrites comme suit :

1. Ouvrir le cadenas d'analyse, cela permet de faire des modifications au niveau du modèle ;
2. Activer le mode accrochage aux intersections, extrémités et points ;
3. Cliquer sur le menu principal " *Draw > Draw Area Objects > Draw walls (Plan)* " ou par l'icône figurée dans l'espace de travail ;
4. Cliquer sur " *Property* " pour choisir le type de l'élément plaque (Dans notre cas, on choisit VOILE) ;
5. Cliquer sur " *Drawing Control* " puis choisir " *Drawing Control* " pour fixer la longueur des voiles à insérer ;
6. Spécifier la longueur du voile (Dans notre cas, la longueur des voiles est de 2 mètre) ;
7. Activer la commande " *All Stories* " pour permettre l'insertion des voiles dans tous les niveaux ;
8. Un premier clic sur le point de départ du voile suivi par un deuxième clic sur l'extrémité de la poutre pour assurer la création du voile dans la direction choisie.

Après l'insertion de tous les voiles, on démarre l'exécution du modèle à partir du menu principal " *Analyze > Run Analysis* " et on visualise la déformée des deux premiers modes pour les comparer avec ceux de la structure non-contreventée. Les figures IV.13 et IV.14 illustrent les deux premiers modes de la structure contreventée.



Figure IV.13. Déformée du premier mode propre après insertion des voiles.

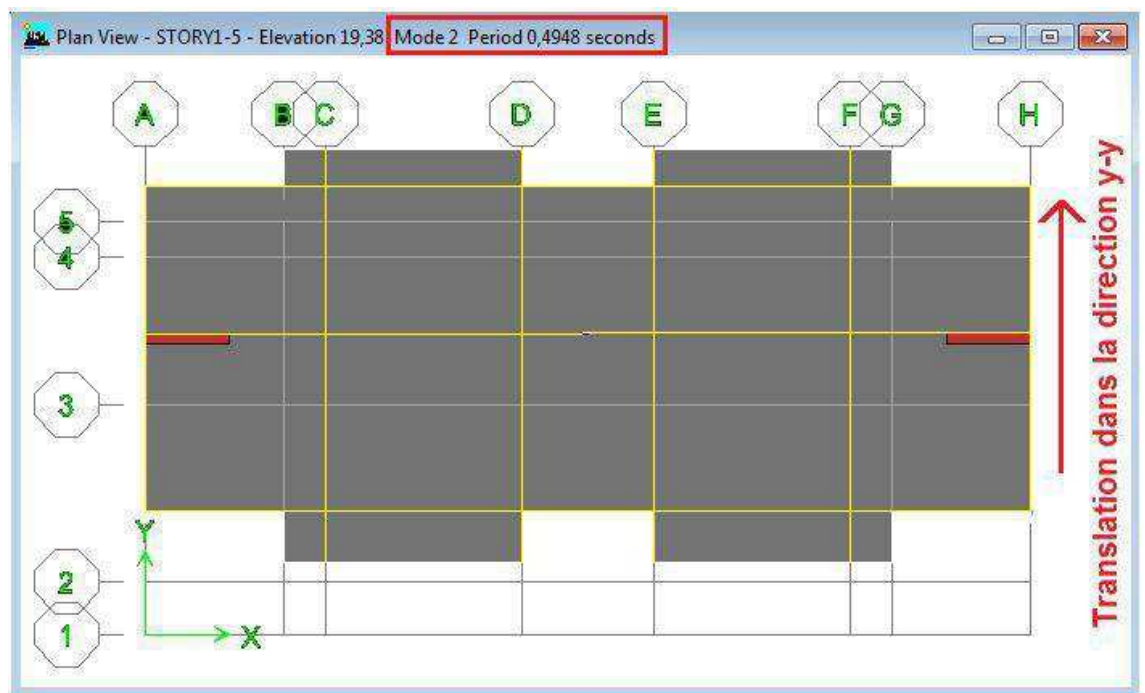


Figure IV.14. Déformée du deuxième mode propre après insertion des voiles.

D'après les figures IV.13 et IV.14, on constate que l'insertion des voiles a amélioré le comportement de la structure, ou on a observé ce qui suit :

- Le premier mode de vibration reste une translation mais dans la direction x-x ;
- Le deuxième mode de vibration s'est transformé en une translation dans la direction y-y ;
- La période du mode fondamentale de la structure (premier mode, $T = 0,53$ s) est inférieure à celle recommandée par R.P.A. 99 V2003 ($1,3 \times T_{R.P.A.} = 0.60$ s).

3.2. Analyse spectrale

Pour cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets (déplacements, vitesses, forces internes ... etc.) engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul (c.-à-d. pour chacun de ces modes propres l'analyse spectrale permet de déterminer l'accélération de chaque masse du modèle pour chacun des modes de vibration). Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

3.2.2. Définition du spectre de réponse

Avant de lancer l'analyse spectrale, il faut tout d'abord définir le spectre de réponse. Un spectre de réponse est une courbe permettant d'évaluer la réponse d'un bâtiment à un séisme passé ou futur. En Algérie le spectre de réponse est défini par le règlement R.P.A. V99 version 2003. La figure IV.15 décrit la procédure de définition du spectre de calcul.

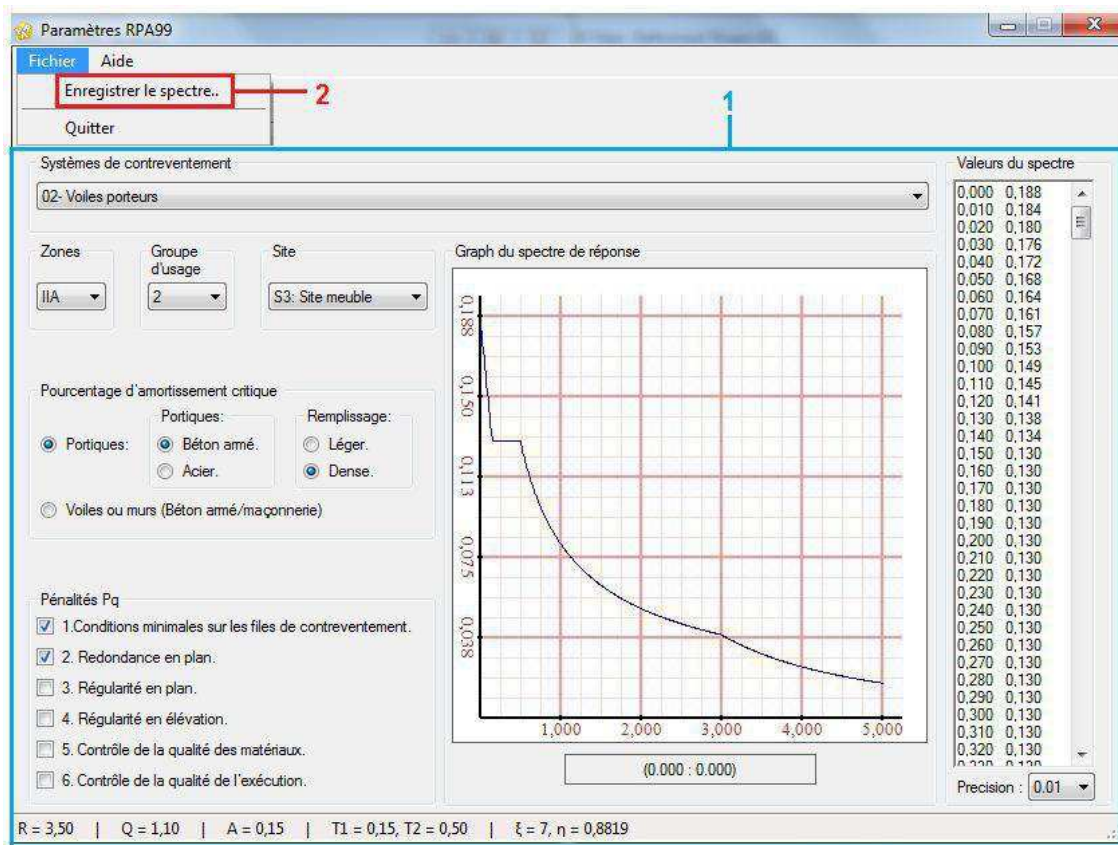


Figure IV.15. Définition du spectre de réponse.

La définition du spectre de réponse consiste :

1. Introduire les paramètres de l'analyse spectrale (§D, Chapitre I), à savoir : le système de contreventement, la zone, le groupe d'usage, la classe de site ... etc ;
2. Choisir un emplacement pour enregistrer le spectre de réponse sous le format ".txt".

Après avoir défini tous les paramètres qui permettent de définir le spectre de réponse utilisé pour exécuter le calcul, il est nécessaire d'introduire le spectre de réponse (figure IV.16) puis on définit les vecteurs directeurs du séisme (figure IV.17).

La figure IV.12 rassemble les différentes étapes qui permettent d'introduire la fonction du spectre de réponse. Ces étapes sont résumées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Definie > Response Spectrum Functions ...* " ;
2. Sélectionner, dans la liste déroulante " *Spectrum From File* " pour introduire la fonction du spectre à l'aide d'un fichier défini ;
3. Cliquer sur " *Add New Function...* " pour ajouter une nouvelle fonction ;
4. Spécifier le nom de la fonction du spectre ;
5. Spécifier la valeur du coefficient d'amortissement (§D, Chapitre I) ;

6. Cocher l'option " *Period vs Value* " parce que le spectre Algérien est exprimé en fonction de la période ;
7. Cliquer sur " *Display Graph* " pour afficher l'allure du spectre de réponse ;
8. Cliquer sur " *OK* " pour créer la fonction du spectre de réponse.

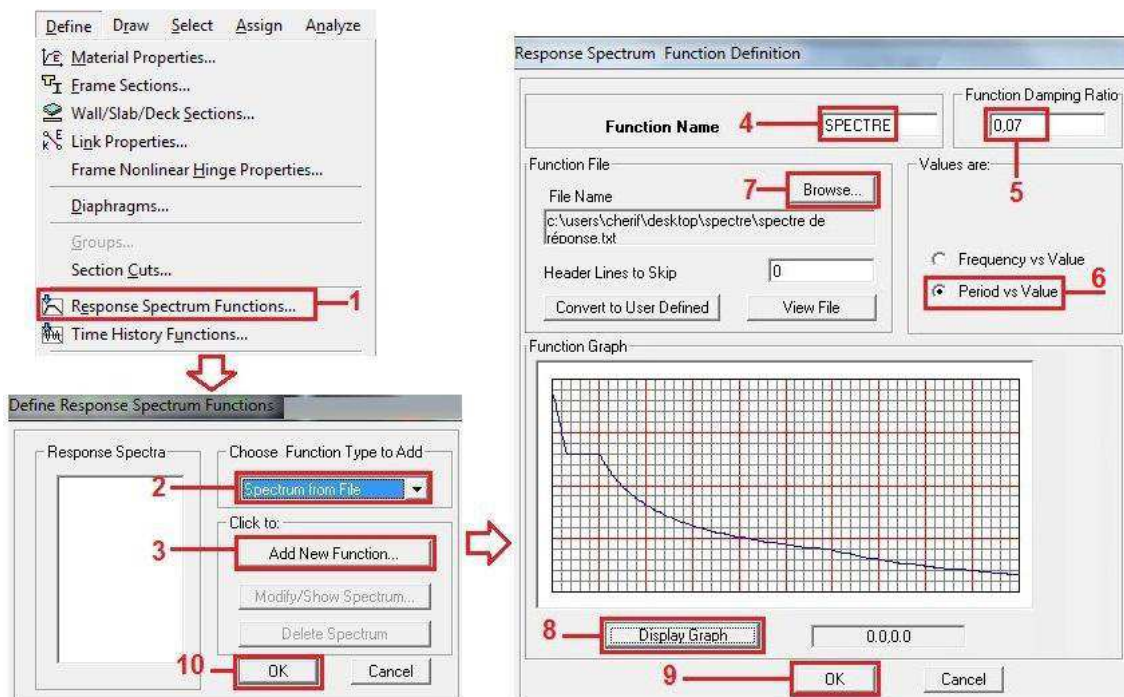


Figure IV.16. Introduction de la fonction du spectre de réponse.

La figure IV.17 illustre les différentes étapes qui permettent la définition des vecteurs directeurs du séisme c.-à-d. les directions d'excitation. Ces étapes sont détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define > Response Spectrum Cases ...* " ;
2. Cliquer sur " *Add New Spectrum...* " pour définir le vecteur directeur du cas sismique utilisé ;
3. Préciser le nom de la première composante du vecteur directeur de séisme (Ex) ;
4. Spécifier la valeur du coefficient d'amortissement (§D, Chapitre I) ;
5. Pour estimer la réponse maximale de chaque degré de liberté, on doit recourir à une combinaison statique des réponses modales maximales. La Combinaison Quadratique Complète C.Q.C. est l'une des méthodes les plus utilisées. Cette méthode, proposée par E.L. Wilson, A. DerKiureghian et E.P. Bayon en 1981, donne une meilleure estimation. Cette méthode se base sur la théorie des vibrations aléatoires et donne un résultat exact si les périodes des modes propres sont bien séparées. Pour toutes ces raisons on coche CQC ;
6. Sélectionner, dans la liste déroulante le spectre défini précédemment " *SPECTRE* " dans la direction " *U1* " puis donner le facteur d'échelle 9.81 (le facteur d'échelle représente la valeur de l'accélération du sol) ;
7. Spécifier la valeur de l'excentricité entre le centre de gravité et le centre de rigidité "Ecc = 5% selon R.P.A. 99 Version 2003" ;
8. Cliquer sur " *OK* " pour créer la première composante du séisme et reprendre les étapes 2->8 pour créer la deuxième composante du séisme dans la direction " *U2* " ;
9. Après la définition de deux composantes de séisme on clique " *OK* ".

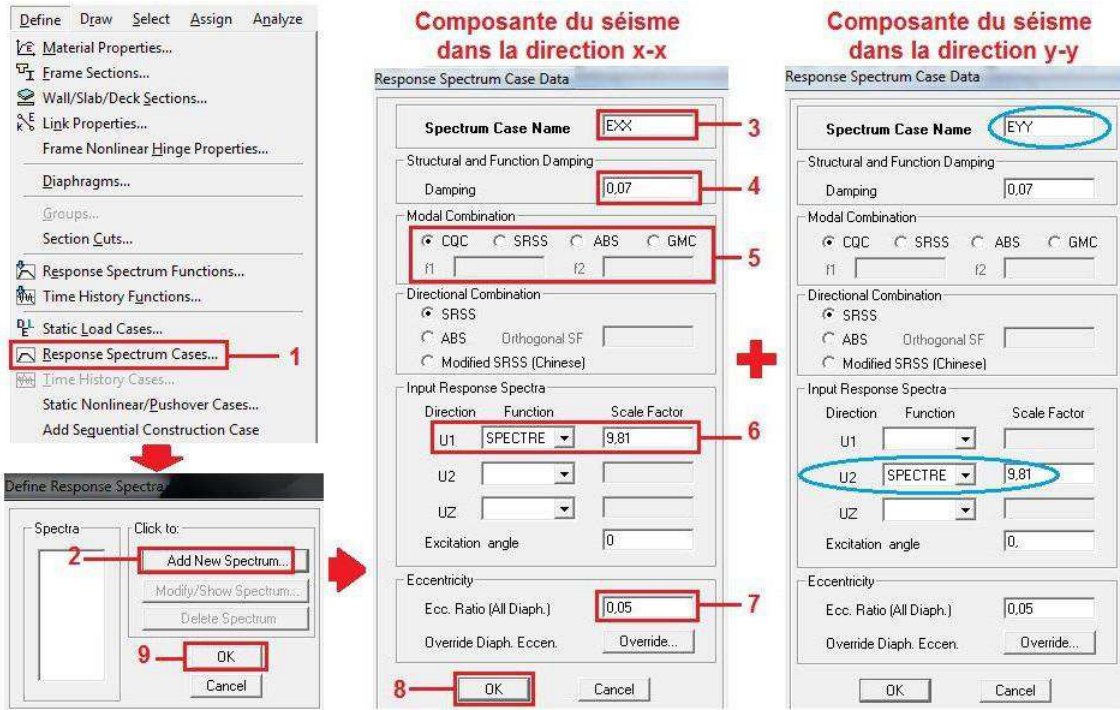


Figure IV.17. Définition des vecteurs directeurs du séisme.

3.2.3. Définition des combinaisons sismiques

L'action sismique est considérée comme une action accidentelle au sens de la philosophie de calcul aux États Limites. Les combinaisons sismiques à considérer pour la détermination des sollicitations et des déformations de calcul sont :

- $G + Q \pm E_{xx}$;
- $G + Q \pm E_{yy}$;
- $0.8G \pm E_{xx}$;
- $0.8G \pm E_{yy}$.

Pour les ossatures autostables, les combinaisons précédentes sont remplacées par les combinaisons suivantes :

- $G + Q \pm 1.2 E_{xx}$;
- $G + Q \pm 1.2 E_{yy}$.

E_{xx} et E_{yy} : sont les composantes horizontales du séisme. La figure IV.18 rassemble les différentes instructions qui permettent la définition des combinaisons sismiques.

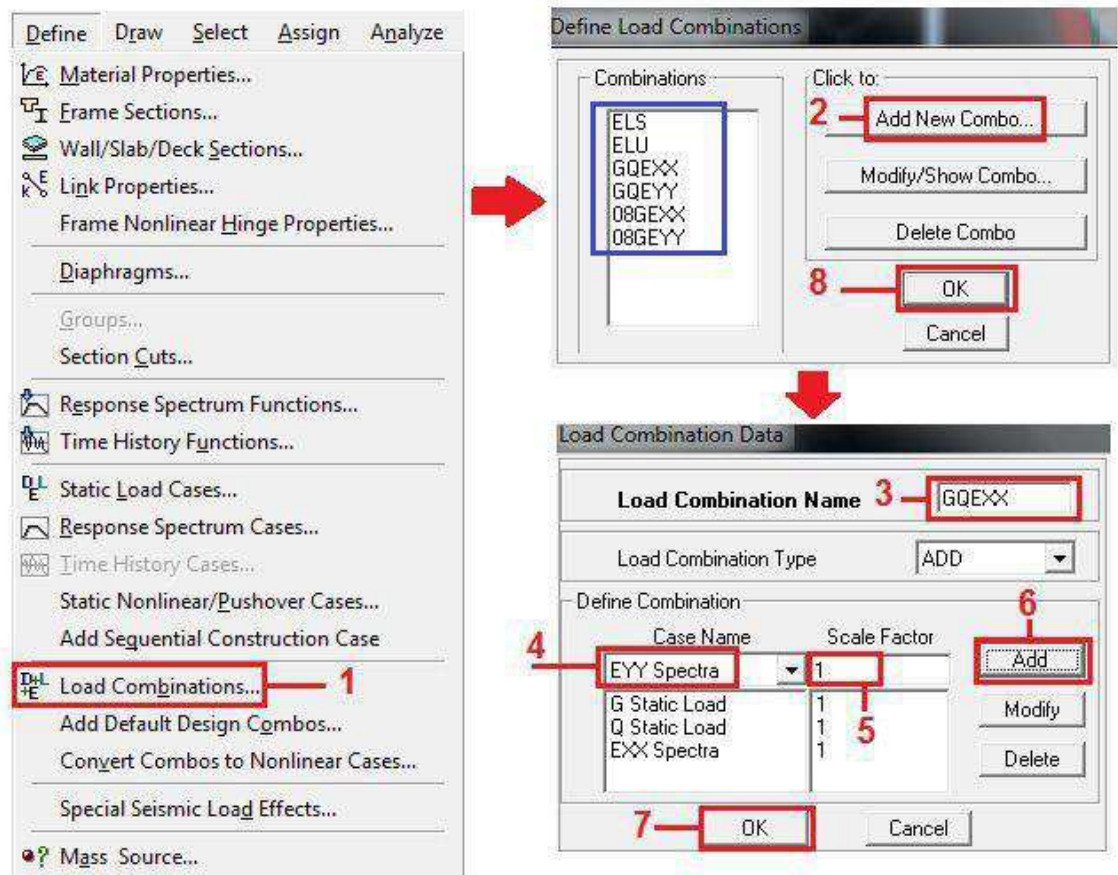


Figure IV.18. Définition des combinaisons sismiques.

Les instructions de la figure IV.18 peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Define > Load Combinations ...* " ;
2. Cliquer sur " *Add New Combo...* " ;
3. Spécifier le nom de la combinaison ;
4. Spécifier le cas de chargement ;
5. Saisir le coefficient de majoration ;
6. Cliquer sur " *Add* " puis reprendre les étapes 3, 4, 5 et 6 pour ajouter les autres combinaisons de charge ;
7. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la création de la combinaison ;
8. Cliquer sur " *OK* " après la définition de toutes les combinaisons de charges.

Après avoir défini toutes les combinaisons sismiques, on lance le calcul du modèle à partir du menu principal " *Analyze > Run Analysis* " ou par la touche " *F5* " du clavier.

La prochaine étape consiste à visualiser et exploiter les résultats de l'analyse

4. Exercice

Prenant la structure illustrée sur la figure II.23 (Chapitre II, § 3). Sachant que la structure précédente sera implantée au niveau de la wilaya de Boumerdes sur un sol de type S4 ;

1. Vérifier les différents critères de qualité de la structure (régularité en plan, régularité en élévation ... etc.) selon le règlement RPA 99 V2003.
2. Définir et introduire le spectre de réponse selon le règlement RPA 99 V2003.
3. Insérer les voiles de contreventement de façon que les deux premiers modes de vibration soient une translation.
4. Définir les combinaisons de charges sismiques selon le règlement RPA 99 V2003.

CHAPITRE .V. VISUALISATION ET EXPLOITATION DES RÉSULTATS DU CALCUL

VIII

Tableaux de résultats	56
Présentation graphique des résultats	65
Exercice	68

Pour un logiciel de calcul de structures, un des points les plus importants est l'exploitation des résultats. Dans ce domaine, ETABS nous propose des outils très performants. Sous forme graphique ou de tableaux, la gamme d'exploitation est très complète. Parmi ses différentes fonctionnalités, on peut noter : l'analyse graphique, détaillée ou globale ainsi que les cartographies pour les éléments surfaciques et les résultats réduits pour les panneaux, ... etc.

Le multi-fenêtrage d'ETABS permet d'isoler un certain nombre d'éléments d'une structure complexe afin d'obtenir des résultats affinés sur cette partie. Cela permet en outre d'afficher les différents types d'affichage de résultats disponibles simultanément à l'écran (tableau de données, cartographie, etc..).

Dans ce qui ce suit nous présenterons les différentes instructions qui permettent l'affichage de différents résultats de calcul.

1. Tableaux de résultats

Les tableaux présentent les différents résultats de calculs de la structure (déplacements, contraintes, efforts, réactions aux appuis, etc...). Les tableaux sont affichés à l'écran en cliquant sur le menu principal " *Display >Show Tables* ".

1.1. Déplacements du centre de masse

Pour afficher les déplacements, du centre de masse, engendrés par les composantes du séisme, on doit effectuer les opérations suivantes :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display >Show Tables* " ;
2. Cocher l'option " *Displacements* " ;
3. Cliquer sur la commande " *Select Cases/Combos...* " pour afficher la liste des combinaisons et des cas de charges ;
4. Choisir les cas de charges sismiques (Exx et Eyy) ;
5. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la sélection des cas de charges sismiques ;
6. Cliquer sur " *OK* " pour afficher le tableau des déplacements du centre de masse.

Les figures V.1 et V.2 illustrent les instructions qui permettent l'affichage du tableau de déplacements.

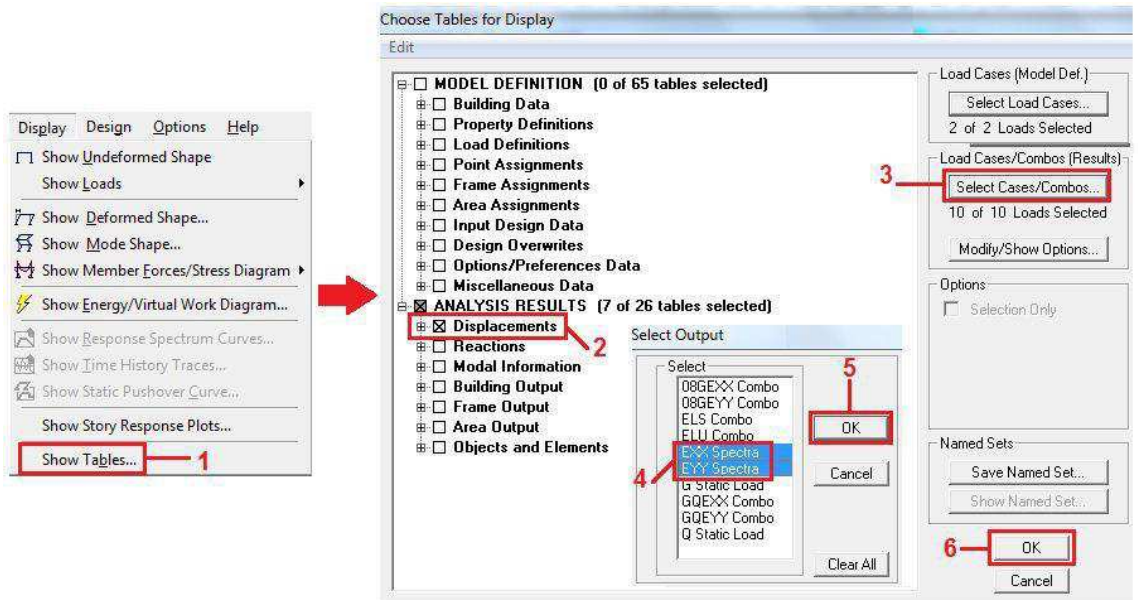


Figure V.1. Visualisation des déplacements du centre de masse.

Diaphragm CM Displacements

	Story	Diaphragm	Load	UX	UY	UZ
▶	STORY1-5	D1	EXX	0,0119	0,0000	0,0000
	STORY1-5	D1	EYY	0,0000	0,0109	0,0000
	STORY1-4	D1	EXX	0,0104	0,0000	0,0000
	STORY1-4	D1	EYY	0,0000	0,0092	0,0000
	STORY1-3	D1	EXX	0,0085	0,0000	0,0000
	STORY1-3	D1	EYY	0,0000	0,0073	0,0000
	STORY1-2	D1	EXX	0,0063	0,0000	0,0000
	STORY1-2	D1	EYY	0,0000	0,0052	0,0000
	STORY1-1	D1	EXX	0,0040	0,0000	0,0000
	STORY1-1	D1	EYY	0,0000	0,0031	0,0000
	STORY1	D1	EXX	0,0017	0,0000	0,0000
	STORY1	D1	EYY	0,0000	0,0012	0,0000
	BASE	D1	EXX	0,0000	0,0000	0,0000
	BASE	D1	EYY	0,0000	0,0000	0,0000

Colonne A
Colonne B

Figure V.2. Valeurs de déplacements du centre de masse.

La figure V.2 montre les valeurs de déplacements du centre de masse pour tous les étages. D'après ce tableau, on remarque ce qui suit :

- La colonne " A " représente les déplacements engendrés par la composante sismique " Exx " dans la direction " X-X " ;
- La colonne " B " représente les déplacements engendrés par la composante sismique " Eyy " dans la direction " Y-Y " ;

1.2. Réactions d'appuis

Les réactions d'appuis permettent de dimensionner et calculer les fondations de la structure. Le figure V.3 regroupe les différentes étapes qui permettent l'affichage des réactions d'appuis.

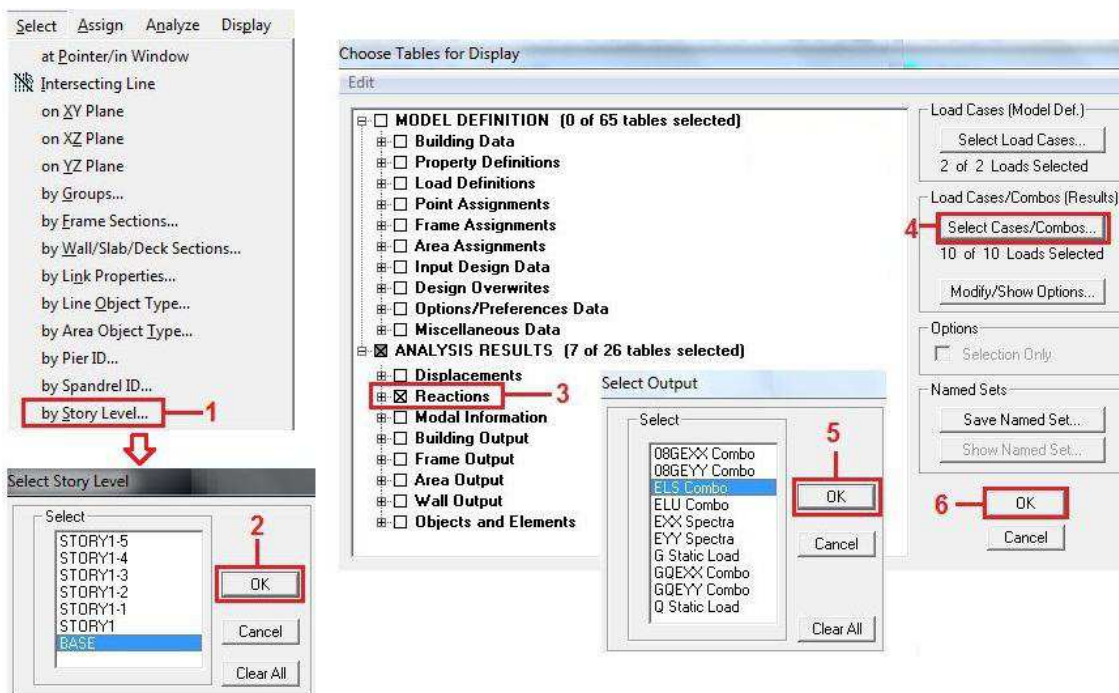


Figure V.3. Visualisation des réactions d'appuis.

Les instructions de la figure V.3 peuvent être expliquées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Select >By Stroy Level* " pour sélectionner les points d'appuis de la structure ;
2. Choisir le niveau " *BASE* " ;
3. Cliquer sur le menu principal " *Display >Show Tables* " puis cocher l'option " *Reactions* " ;
4. Cliquer sur la commande " *Select Cases/Combos...* " et choisir la combinaison E.L.S. (Généralement le dimensionnement des fondations s'effectue à l'E.L.S.) ;
5. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la sélection de la combinaison E.L.S. ;
6. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser le tableau des résultats, les réactions d'appuis sont consignées dans la colonne " *A* " (Voir figure V.4).

Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	1	ELS	-0,16	-7,96	35,15	0,000	0,000	0,025
BASE	2	ELS	-0,04	0,03	58,48	0,000	0,000	0,000
BASE	3	ELS	0,07	0,00	55,97	0,000	0,000	0,000
BASE	4	ELS	-0,07	0,00	55,97	0,000	0,000	0,000
BASE	5	ELS	0,04	0,03	58,48	0,000	0,000	0,000
BASE	6	ELS	0,16	-7,96	35,15	0,000	0,000	-0,025
BASE	7	ELS	12,92	0,00	54,70	0,000	0,000	0,001
BASE	8	ELS	0,24	0,00	57,12	0,000	0,000	0,000
BASE	9	ELS	-0,14	-0,01	74,83	0,000	0,000	0,000
BASE	10	ELS	0,19	8,15	40,65	0,000	0,000	0,029
BASE	11	ELS	0,04	-0,08	70,99	0,000	0,000	0,000
BASE	12	ELS	-0,09	-0,05	66,47	0,000	0,000	0,000
BASE	13	ELS	0,09	-0,05	66,47	0,000	0,000	0,000
BASE	14	ELS	0,14	-0,01	74,83	0,000	0,000	0,000
BASE	15	ELS	-0,24	0,00	57,12	0,000	0,000	0,000

Colonne A

Figure V.4. Valeurs des réactions d'appuis à l'E.L.S.

1.3. Résultats de l'analyse modale spectrale

Les résultats de l'analyse modale spectrale peuvent être visualisés en effectuant les opérations illustrées sur la figure V.5. Ces opérations sont détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display > Show Tables* " ;
2. Cocher les options " *Modal information* " et " *Building Output* " ;
3. Cliquer sur la commande " *Select Cases/Combos...* " pour choisir les cas de charges ;
4. Sélectionner les cas de charges sismiques (Exx et Eyy) ;
5. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la sélection des cas de charges sismiques ;
6. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser le tableau de résultats de l'analyse modale spectrale.

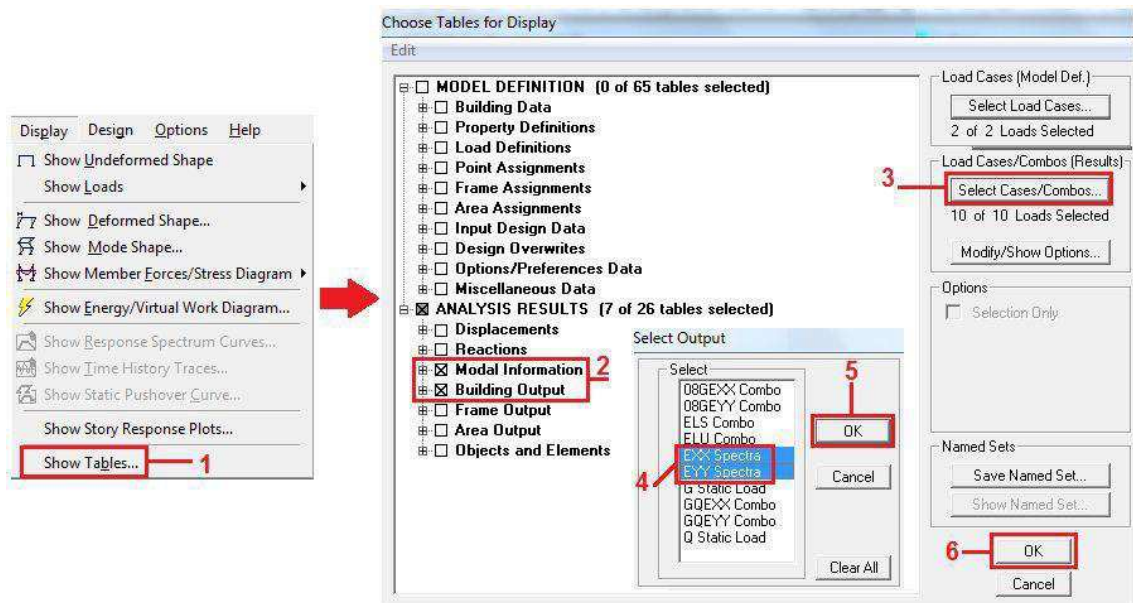


Figure V.5. Visualisation des résultats de l'analyse modale spectrale.

Les étapes de la figure V.5 permettent l'affichage d'un tableau qui regroupe :

- La masse de chaque étage ;
- Les coordonnées du centre de masse ;
- Les coordonnées du centre de rigidité ;
- Le taux de participation des masses modales ;
- Les périodes naturelles des modes propres ;
- La distribution des efforts tranchants au niveau des étages ainsi que le moment de renversement.

1.3.2. Coordonnées des centres de masse et de rigidité

Les coordonnées des centres de masse et de rigidité peuvent être affichées en cliquant sur la commande 1 de la figure V.6 puis on sélectionne dans la liste déroulante " *Center Mass Rigidity* ". Le tableau " *Center Mass Rigidity* " montre :

- La colonne " *A* " regroupe la masse de chaque étage de la structure ;
- La colonne " *B* " regroupe les coordonnées du centre de masse des étages de la structure ;
- La colonne " *C* " regroupe les coordonnées du centre de rigidité des étages de la structure.

Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
STORY1-5	D1	15,0916	15,0916	10,506	5,049	15,0916	15,0916	10,506	5,049	10,500	4,829
STORY1-4	D1	16,1224	16,1224	10,506	5,060	31,2140	31,2140	10,506	5,054	10,500	4,855
STORY1-3	D1	16,1224	16,1224	10,506	5,060	47,3364	47,3364	10,506	5,056	10,500	4,889
STORY1-2	D1	16,1224	16,1224	10,506	5,060	63,4588	63,4588	10,506	5,057	10,500	4,942
STORY1-1	D1	16,1224	16,1224	10,506	5,060	79,5812	79,5812	10,506	5,058	10,500	5,034
STORY1	D1	16,5943	16,5943	10,506	5,064	96,1755	96,1755	10,506	5,059	10,500	5,194

Figure V.6. Coordonnées de centre de masse et de centre de rigidité.

1.3.3. Nombre de modes à considérer

Les périodes, le taux de participation des masses modales et le taux de torsion peuvent être affichés en cliquant sur la commande 1 de la figure V.7 puis on sélectionne dans la liste déroulante " *Modal Participating Mass Ratios* ". Le tableau " *Modal Participating Mass Ratios* " montre :

- La colonne " A " qui regroupe les périodes naturelles de chaque mode propre ;
- La colonne " B " qui regroupe le taux de participation des masses modales ;
- La colonne " C " qui regroupe le taux de torsion pour chaque mode propre.

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,533968	79,6931	0,0000	0,0000	79,6931	0,0000	0,0000	0,0000	99,6373	0,0353
2	0,494793	0,0000	76,3736	0,0000	79,6931	76,3736	0,0000	99,2516	99,6373	0,0353
3	0,361430	0,0494	0,0001	0,0000	79,7425	76,3737	0,0000	99,2517	99,6908	75,9090
4	0,149314	12,9075	0,0000	0,0000	92,6500	76,3737	0,0000	99,2517	99,7279	75,9123
5	0,126562	0,0000	15,0214	0,0000	92,6500	91,3951	0,0000	99,6586	99,7279	75,9123
6	0,091708	0,0015	0,0000	0,0000	92,6515	91,3951	0,0000	99,6586	99,7279	91,1657
7	0,068900	4,5448	0,0000	0,0000	97,1963	91,3951	0,0000	99,6586	99,9572	91,1672
8	0,054084	0,0000	5,2759	0,0000	97,1963	96,6710	0,0000	99,9287	99,9572	91,1672

Figure V.7. Nombre de modes à considérer.

Il faut bien comprendre qu'il n'est pas nécessaire de considérer l'effet de tous les modes de vibration pour obtenir une précision acceptable dans les structures de génie civil. Pour modéliser un bâtiment en trois dimensions, le nombre de modes requis dans une analyse dynamique modale spectrale dépend de la direction de l'excitation à la base et du degré de couplage entre les modes de translation et les modes de torsion. Le règlement R.P.A 99 V2003 utilise la masse modale comme un indicateur du nombre de modes à considérer dans l'analyse. Le nombre de modes à employer doit être suffisant pour représenter au moins 90% de la masse totale de la structure. Dans notre cas, la masse modale dépasse le taux de 90% à partir du cinquième mode (Voir figure V.7). De ce fait, le nombre de modes à considérer est égal à 5.

1.3.4. Distribution des efforts tranchants

Les efforts tranchants de chaque étage peuvent être affichés en cliquant sur la commande 1 de la figure V.8 puis on sélectionne dans la liste déroulante " *Story Shears* ". Le tableau " *Story Shears* " montre :

- La colonne " A " qui regroupe les efforts tranchants à chaque étage de la structure ;
- La colonne " B " qui regroupe les moments de renversements engendrés par les efforts tranchants au niveau de chaque étage.

Story Shears

Edit View

1 Story Shears

	Story	Load	Loc	P	VX	VY	T	MX	MY
▶	STORY1-5	EXX	Top	0,00	28,05	0,00	158,894	0,000	0,000
	STORY1-5	EXX	Bottom	0,00	28,05	0,00	158,894	0,008	85,821
	STORY1-5	EYY	Top	0,00	0,00	30,32	349,601	0,000	0,000
	STORY1-5	EYY	Bottom	0,00	0,00	30,32	349,601	92,783	0,008
	STORY1-4	EXX	Top	0,00	51,67	0,01	294,265	0,008	85,821
	STORY1-4	EXX	Bottom	0,00	51,67	0,01	294,265	0,024	242,706
	STORY1-4	EYY	Top	0,00	0,00	54,47	629,101	92,783	0,008
	STORY1-4	EYY	Bottom	0,00	0,00	54,47	629,101	257,914	0,022
	STORY1-3	EXX	Top	0,00	70,77	0,01	404,322	0,024	242,706
	STORY1-3	EXX	Bottom	0,00	70,77	0,01	404,322	0,046	455,689
	STORY1-3	EYY	Top	0,00	0,01	73,33	849,699	257,914	0,022
	STORY1-3	EYY	Bottom	0,00	0,01	73,33	849,699	477,810	0,043
	STORY1-2	EXX	Top	0,00	85,34	0,01	488,541	0,046	455,689
	STORY1-2	EXX	Bottom	0,00	85,34	0,01	488,541	0,072	711,795
	STORY1-2	EYY	Top	0,00	0,01	87,36	1015,498	477,810	0,043
	STORY1-2	EYY	Bottom	0,00	0,01	87,36	1015,498	738,687	0,068
	STORY1-1	EXX	Top	0,00	95,20	0,01	546,691	0,072	711,795
	STORY1-1	EXX	Bottom	0,00	95,20	0,01	546,691	0,101	996,711
	STORY1-1	EYY	Top	0,00	0,01	96,73	1129,867	738,687	0,068
	STORY1-1	EYY	Bottom	0,00	0,01	96,73	1129,867	1026,460	0,097
	STORY1	EXX	Top	0,00	100,42	0,01	577,973	0,101	996,711
	STORY1	EXX	Bottom	0,00	100,42	0,01	577,973	0,140	1397,963
	STORY1	EYY	Top	0,00	0,01	101,58	1190,661	1026,460	0,097
	STORY1	EYY	Bottom	0,00	0,01	101,58	1190,661	1430,397	0,136

Colonne A

Colonne B

⏪ ⏩ ⏴ ⏵

OK

Figure V.8. Distribution des efforts tranchants sismiques.

1.4. Résultats des éléments barres

Pour les structures à barre dans ETABS, il est possible d'afficher les résultats des éléments barres dans un tableau résumant leurs efforts internes. Avant d'afficher les résultats des éléments barres, il faut tout d'abord sélectionner les éléments appropriés (soit : poteaux, poutres ... etc.) puis présenter leurs résultats. Les figures V.9 et V.10 illustrent les étapes qui permettent la visualisation des efforts internes des éléments barres.

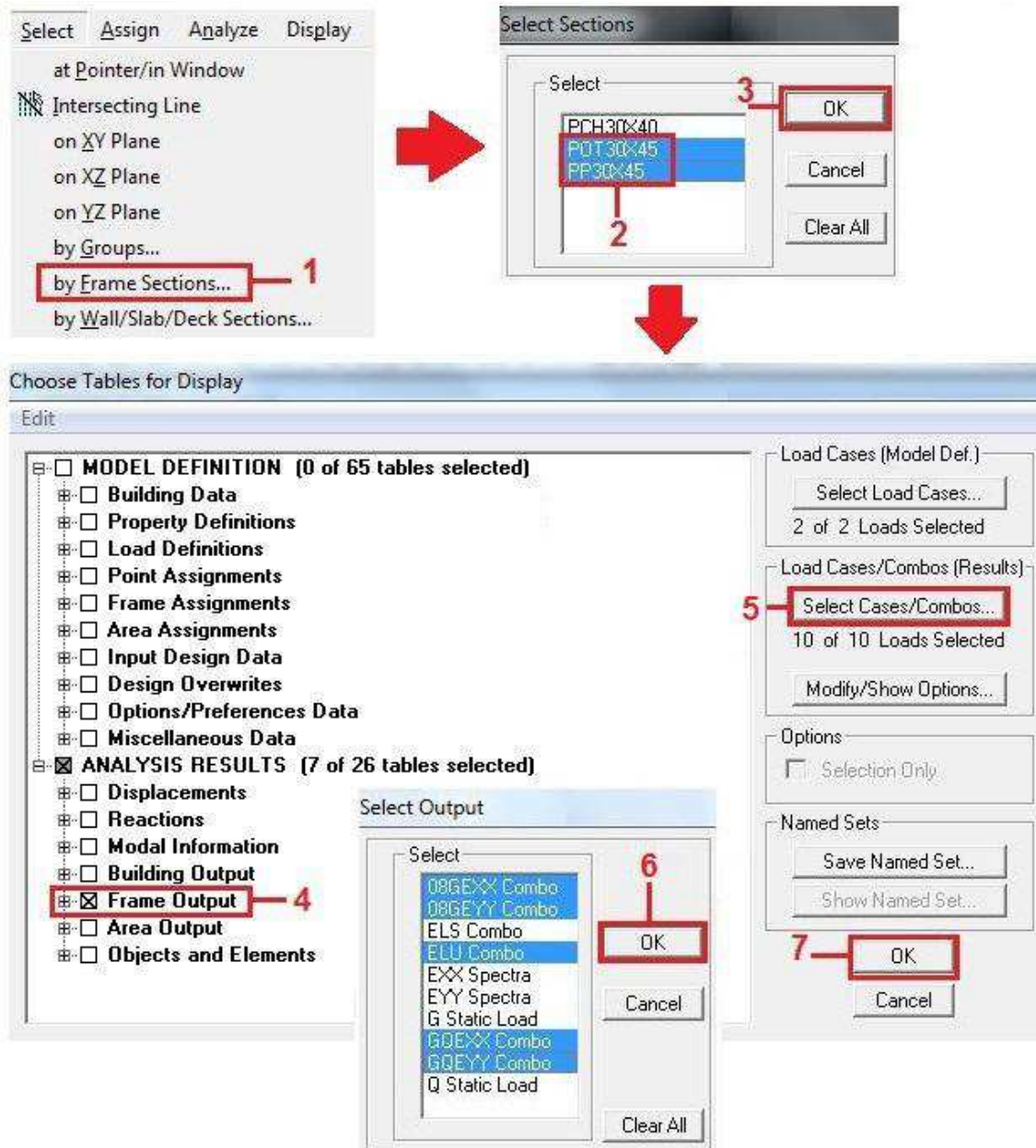


Figure V.9. Visualisation des résultats des éléments de barres.

Les opérations de la figure V.9 peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Select >By Frame Sections...* " ;
2. Sélectionner la section des éléments désirés, par exemple les poutres PP30x45 et les poteaux POT30x45 ;
3. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la sélection des éléments précédents ;
4. Cliquer sur le menu principal " *Display >Show Tables* " puis cocher l'option " *Frame Output* " ;
5. Cliquer sur la commande " *Select Cases/Combos...* " puis choisir la combinaison E.L.U. et les combinaisons sismiques ;
6. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la sélection des combinaisons précédentes ;
7. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser le tableau des efforts internes des éléments barres (Voir figure V.10).

	Story	Beam	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
▶	STORY1-5	B1	ELU	0,225	0,00	-4,37	0,00	-0,102	0,000	-2,447
	STORY1-5	B1	ELU	0,778	0,00	-3,25	0,00	-0,102	0,000	-0,340
	STORY1-5	B1	ELU	1,331	0,00	-2,12	0,00	-0,102	0,000	1,145
	STORY1-5	B1	ELU	1,884	0,00	-1,00	0,00	-0,102	0,000	2,007
	STORY1-5	B1	ELU	2,438	0,00	0,13	0,00	-0,102	0,000	2,246
	STORY1-5	B1	ELU	2,991	0,00	1,25	0,00	-0,102	0,000	1,863
	STORY1-5	B1	ELU	3,544	0,00	2,38	0,00	-0,102	0,000	0,858
	STORY1-5	B1	ELU	4,097	0,00	3,51	0,00	-0,102	0,000	-0,770
	STORY1-5	B1	ELU	4,650	0,00	4,63	0,00	-0,102	0,000	-3,020
	STORY1-5	B1	ELU	4,650	0,00	-3,73	0,00	0,012	0,000	-1,406
	STORY1-5	B1	ELU	7,700	0,00	2,57	0,00	0,078	0,000	0,367
	STORY1-5	B1	ELU	8,213	0,00	3,61	0,00	0,078	0,000	-1,219

Figure V.10. Tableaux des efforts internes des éléments de barre.

Les efforts internes au niveaux des éléments barres peuvent être affichés en cliquant sur la commande 1 de la figure V.10 puis on sélectionne dans la liste déroulante la nature de l'élément barre, c.-à-d. " *Beam Forces* " pour le cas des poutres et " *Column Forces* " pour les cas des poteaux. Le tableau des efforts internes montre :

- La colonne " A " qui regroupe les points intermédiaires sur la barre pour lesquels le tableau affiche les valeurs des efforts internes ;
- La colonne " B " qui regroupe les efforts tranchants au niveau des points intermédiaires ;
- La colonne " C " qui regroupe les moments fléchissants au niveau des points intermédiaires.

1.5. Résultats des éléments plaques

Pour afficher les résultats des éléments plaques, on doit tout d'abord choisir un axe comportant un élément surfacique puis on suit les étapes de la figure V.11. Ces étapes sont détaillées comme suit :

1. Sélectionner un voile à l'aide du bouton droit de la souris ;
2. Cliquer sur le menu principal " *Assign > Shell Area > Pier Label...* " ou par l'icône figurée dans l'espace de travail. Cette instruction permet d'obtenir la résultante d'efforts à la base du voile ;
3. Choisir l'option " *P1* " pour attribuer l'option " *Pier Label* " au voile ;
4. Cliquer sur " *OK* ".

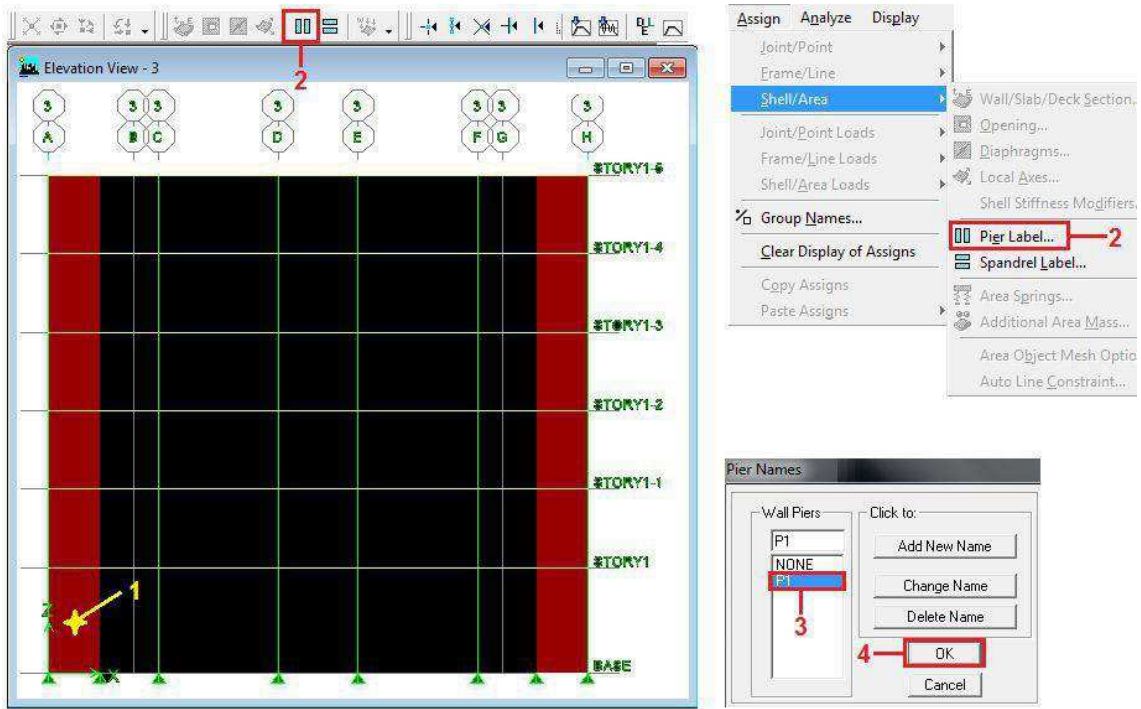


Figure V.11. Sélection des voiles.

Après avoir affecté l'option " *Pier Label* " au voile, on procède à exploiter les résultats des efforts internes de l'élément surfacique (Voir figure V.12).

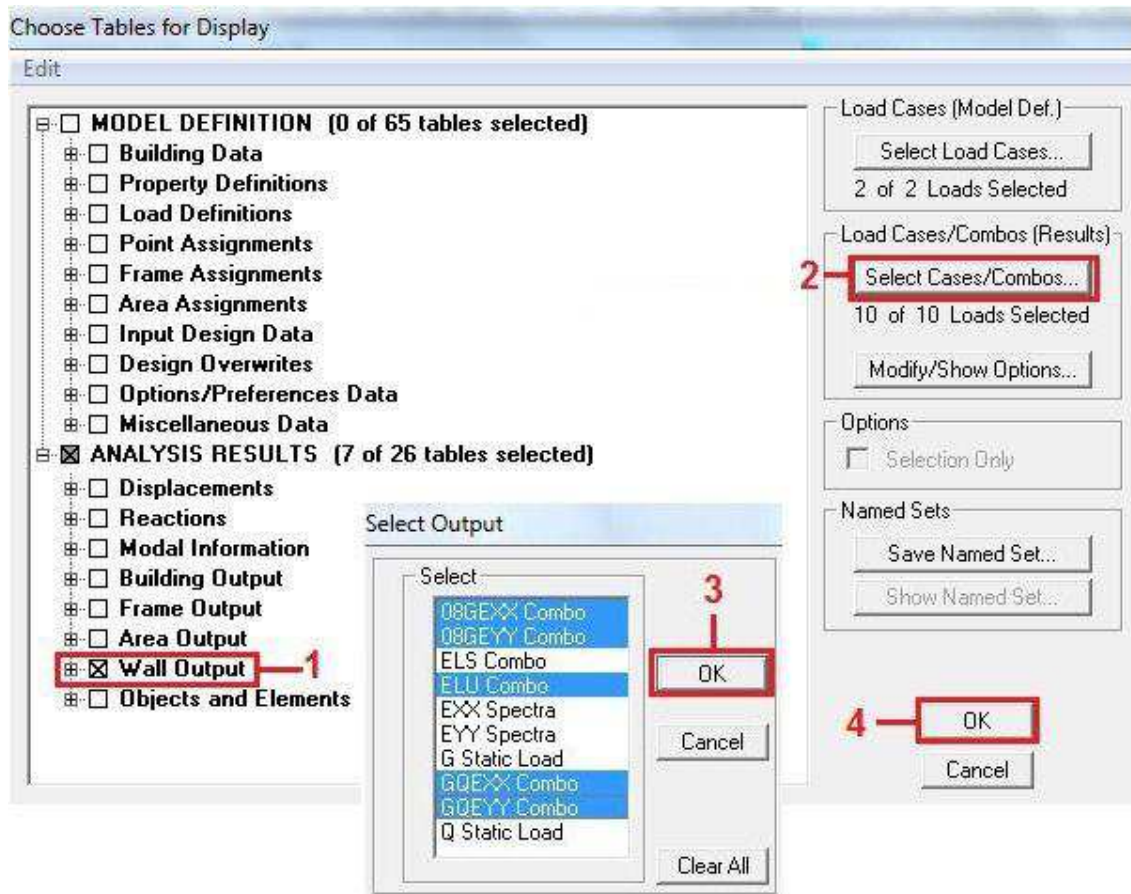


Figure V.12. Visualisation des efforts internes des éléments de plaque.

Les opérations de la figure V.12 peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display > Show Tables* " puis cocher l'option " *Wall Output* " ;

2. Cliquer sur la commande " *Select Cases/Combos...* " puis choisir la combinaison E.L.U. et les combinaisons sismiques ;
3. Cliquer sur " *OK* " pour confirmer la sélection des combinaisons précédentes ;
4. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser le tableau des efforts internes au niveau du voile choisi (Voir figure V.13).

	Story	Pier	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
▶	STORY1	P1	ELU	Top	-84,32	-1,85	0,00	0,002	-0,014	4,564
	STORY1	P1	ELU	Bottom	-89,83	-1,85	0,00	0,002	0,002	-2,992
	STORY1	P1	GQEXX MAX	Top	-11,89	47,46	0,03	0,025	0,104	34,295
	STORY1	P1	GQEXX MAX	Bottom	-15,97	47,46	0,03	0,025	0,018	167,159
	STORY1	P1	GQEXX MIN	Top	-111,21	-50,14	-0,02	-0,023	-0,125	-27,686
	STORY1	P1	GQEXX MIN	Bottom	-115,29	-50,14	-0,02	-0,023	-0,015	-171,488
	STORY1	P1	GQEYY MAX	Top	-41,40	-0,60	0,11	0,155	0,545	5,398
	STORY1	P1	GQEYY MAX	Bottom	-45,48	-0,60	0,11	0,155	0,140	-0,563
	STORY1	P1	GQEYY MIN	Top	-81,71	-2,08	-0,10	-0,153	-0,566	1,210
	STORY1	P1	GQEYY MIN	Bottom	-85,79	-2,08	-0,10	-0,153	-0,138	-3,766
	STORY1	P1	08GEXX MAX	Top	-22,57	-0,10	0,10	0,154	0,547	4,187
	STORY1	P1	08GEXX MAX	Bottom	-25,84	-0,10	0,10	0,154	0,139	0,239
	STORY1	P1	08GEXX MIN	Top	-62,88	-1,59	-0,10	-0,153	-0,564	0,000
	STORY1	P1	08GEXX MIN	Bottom	-66,15	-1,59	-0,10	-0,153	-0,138	-2,963
	STORY1	P1	08QEYY MAX	Top	-22,57	-0,10	0,10	0,154	0,547	4,187
	STORY1	P1	08QEYY MAX	Bottom	-25,84	-0,10	0,10	0,154	0,139	0,239
	STORY1	P1	08QEYY MIN	Top	-62,88	-1,59	-0,10	-0,153	-0,564	0,000
	STORY1	P1	08QEYY MIN	Bottom	-66,15	-1,59	-0,10	-0,153	-0,138	-2,963

Figure V.13. Tableaux des efforts internes des éléments de plaque.

Les efforts internes à la base du voile sont consignés dans le tableau de la figure V.13. Le tableau d'efforts internes montre :

- La colonne " A " regroupe les efforts normaux à la base du voile ;
- La colonne " B " regroupe les efforts tranchants à la bases du voile ;
- La colonne " C " regroupe les moments fléchissants à la base du voile.

2. Présentation graphique des résultats

Pour les structures modélisées par ETABS, il existe plusieurs possibilités d'afficher les résultats sous forme graphique. Les options de base à utiliser lors de la présentation des résultats sont :

- Les diagrammes d'efforts internes ;
- La déformée de la structure ;
- Les cartographies sur les plaques.

2.1. Diagrammes des efforts internes

Pour visualiser les diagrammes des efforts internes, il suffit de suivre les étapes suivantes :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display > Show Member Forces/Stress Diagram* " ;
2. Cliquer sur " *Frame/Pier/Spandrel Forces...* " ;
3. Choisir la combinaison désirée, par exemple l'E.L.U. ;
4. Choisir la nature du digramme à afficher soit : effort normal (*Axial Force*), effort tranchant (*Shear 2-2 ou 3-3*) ou moment fléchissant (*Moment 2-2 ou 3-3*) ;
5. Cocher l'option " *Show Values on Diagram* ", cela permet d'afficher les valeurs maximales et minamales sur le diagramme à visualiser ;
6. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser le diagramme des efforts internes au niveau du portique choisi (Voir figure V.14).

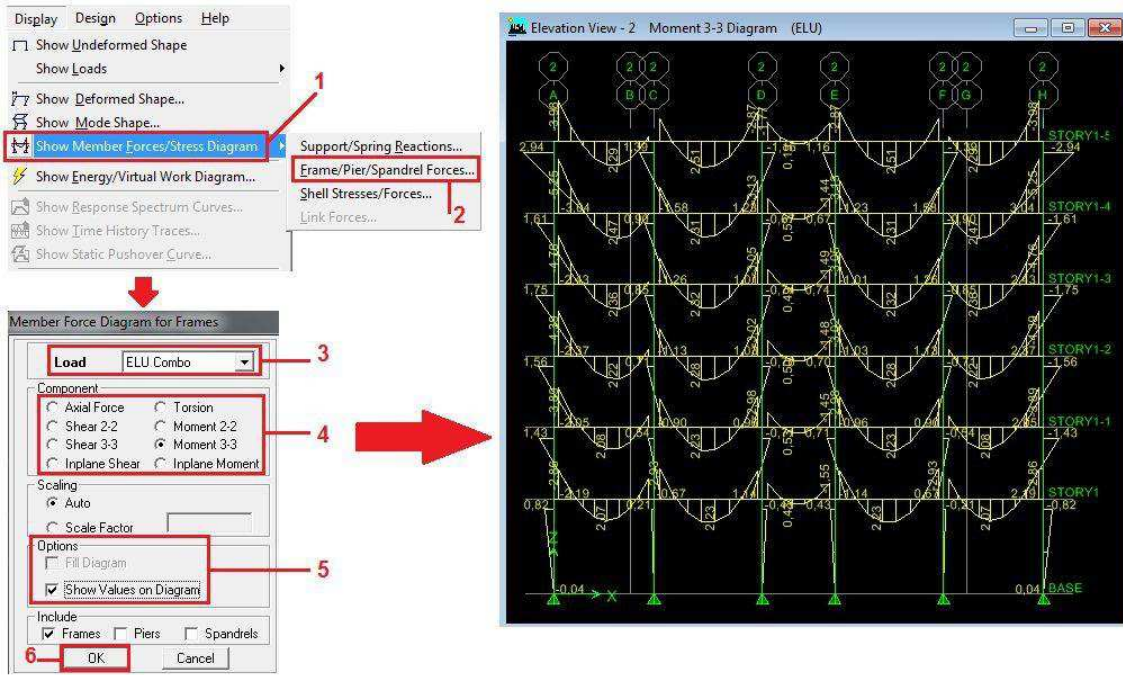


Figure V.14. Visualisation du diagramme des efforts internes.

2.2. Déformée de la structure

Pour visualiser les diagrammes des efforts internes, il suffit de suivre les instructions suivantes :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display > Show Deformed Shape...* " ;
2. Choisir la combinaison désirée, par exemple l'E.L.U. ;
3. Cliquer sur " *OK* " pour visualiser la déformée de la structure sous l'action de la combinaison choisie (Voir figure V.15).

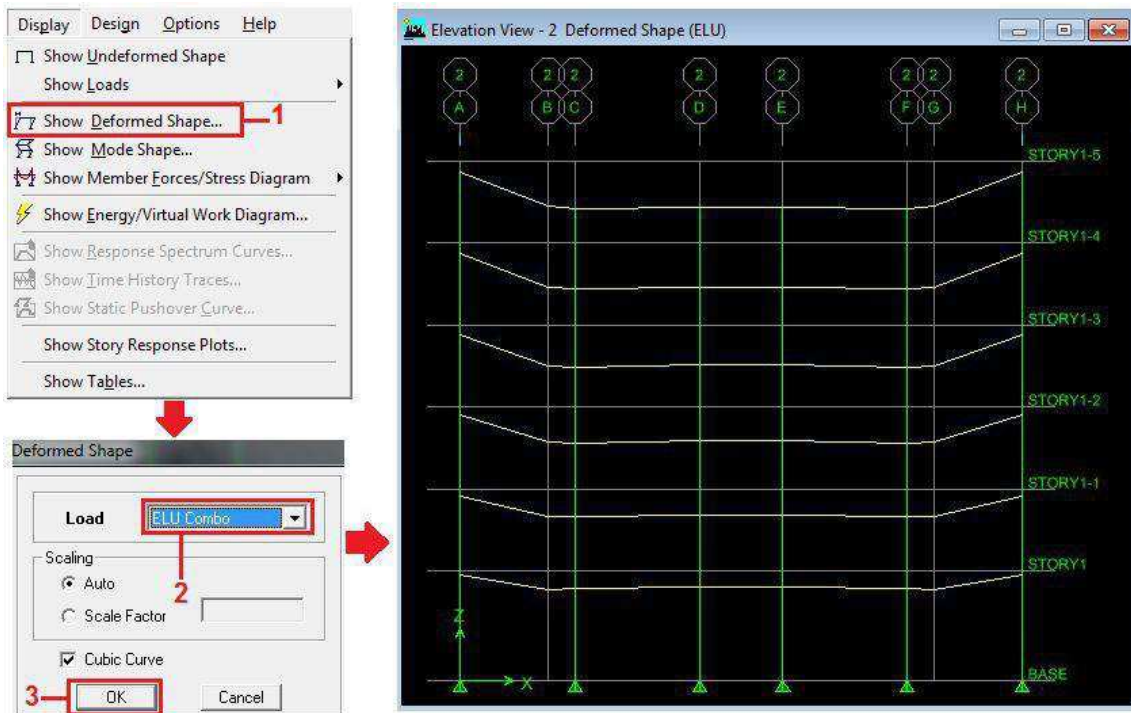


Figure V.15. Visualisation de la déformée de la structure.

2.3. Cartographie sur les plaques

L'option cartographie sert à éditer une représentation couleur des contraintes, déformations, efforts internes etc. obtenus lors de l'analyse des éléments de type plaque. L'option cartographie pour les plaques est accessible à partir du menu principal " *Display* ". Pour afficher la cartographie des éléments plaques, il suffit de suivre les étapes de la figure V.16.

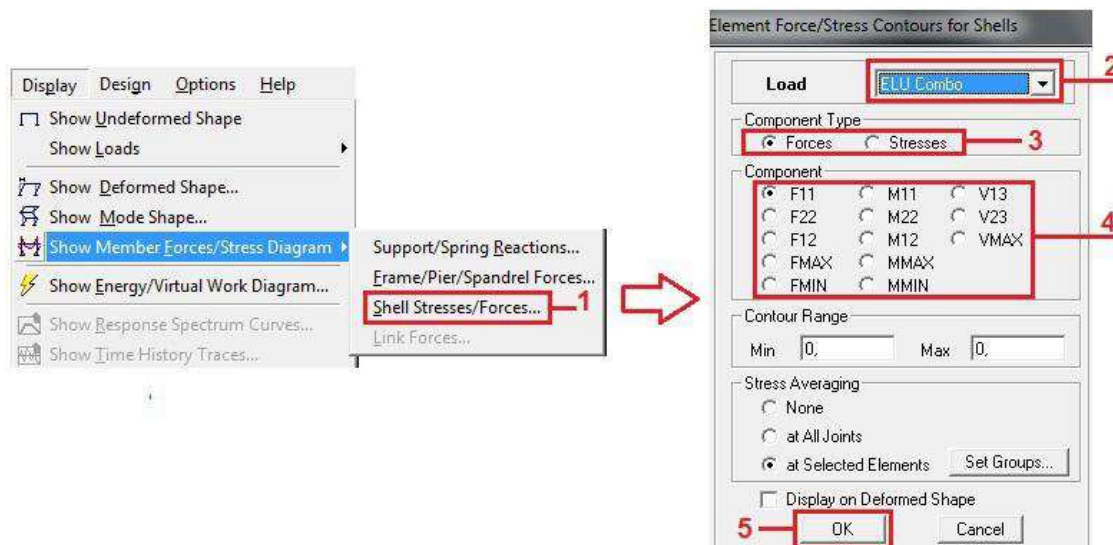


Figure V.16. Visualisation de la cartographie des éléments de plaques.

Les étapes illustrées sur la figure V.16 peuvent être détaillées comme suit :

1. Cliquer sur le menu principal " *Display* > *Show Member Forces/Stress Diagram* > *Shell Stresses/Forces...* " ;
2. Sélectionner la combinaison désirée, par exemple l'E.L.U. ;
3. Sélectionner la nature de la cartographie à afficher c.-à-d. cartographie de forces ou de contraintes ;
4. Dans cette boîte on peut sélectionner la directions des efforts normaux, des moments fléchissants , et des ou des efforts tranchants dans laquelle la cartographie de forces ou de contraintes sera affichée ;
5. Sélectionner Cliquer sur " *OK* " pour visualiser la cartographie des voiles sous l'action de la combinaison E.L.U. (Voir figure V.17).

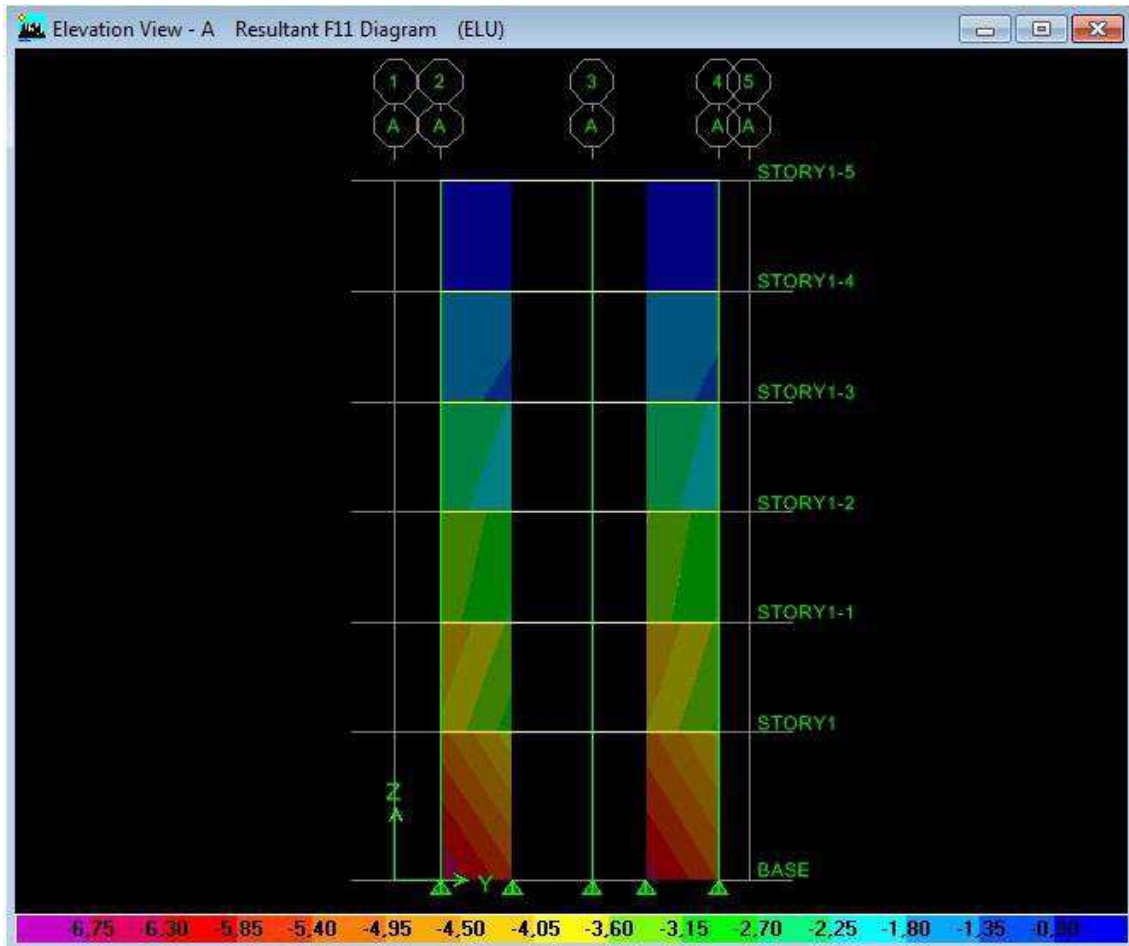


Figure V.17. Cartographie des sollicitations et de contraintes.

3. Exercice

Prenant la structure illustrée sur la figure II.23 (Chapitre II, § 3). Utiliser les différentes commandes d'ETABS pour :

1. Déterminer les déplacements du centre de masse au niveau de chaque étage composant la structure.
2. Déterminer les valeurs d'excentricité entre le centre de masse et le centre de rigidité.
3. Déterminer la valeur maximale des réactions d'appuis à l'ELS et à l'ELU.
4. Déterminer les valeurs maximales des efforts internes (effort normal, effort tranchant et moment fléchissant) au niveau des poteaux et des poutres.
5. Déterminer les efforts réduits des voiles de contreventement au niveau du Rez-De-Chaussée.
6. Visualiser la déformée de la structure sous l'action des combinaisons sismiques.

Exercice

IX

Soit la structure illustrée sur la figure (a).

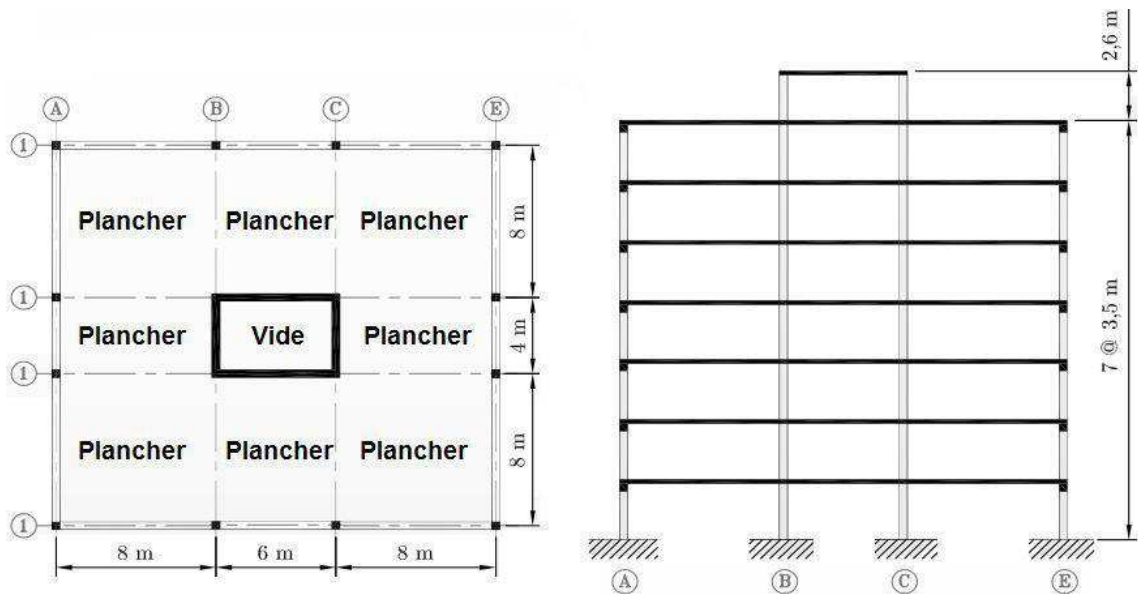


Figure (a)

La structure ci-dessus est un parking de stationnement public, composé d'un **Rez-De-Chaussée**, **7 étages identiques** et un toit. Cet immeuble sera implanté à la wilaya de Constantine, cette région est classée comme une zone de moyenne sismicité (**zone II.a**) selon la classification des zones établie par le règlement parasismique Algérie 99 version 2003. Le bâtiment étudié présente les caractéristiques suivantes :

- Selon la classification des ouvrages suivant leur importance d'après le règlement parasismique Algérie, le groupe d'usage est le "**groupe 2**";
- Selon la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment, le coefficient d'accélération de zone "**A**" est égal à **0.15** ;
- Le **contreventement** de la structure est assuré par un **noyau centrale**, d'où la valeur du coefficient de comportement "**R**" est égale à **3.5** ;
- La configuration du bâtiment étudié **ne satisfait pas les conditions minimales sur les files de contreventement** ;
- Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre seront réalisés par l'entreprise pour **contrôler la qualité des matériaux** utilisés ;
- Une mission de suivi sur chantier est chargée pour **contrôler la qualité d'exécution des travaux** ;
- Selon les critères de qualité, le facteur de qualité **Q** vaut **1,1** ;
- Selon l'étude géotechnique, le sol est classé dans la catégorie **S1 (sol rocheux)** ;
- Le pourcentage d'amortissement critique ζ est égal à **7%** ;
- L'acier utilisé est de nuance **FeE 500** ;
- Le béton utilisé est le **B35** ;
- Les planchers utilisés sont **des dalles pleines d'épaisseur de 30 cm** ;
- La section des poteaux est égale à **60×60 cm²** ;
- Les voiles du noyau ont une **épaisseur de 30 cm** ;
- Les **poutres porteuses** qui agissent dans les directions **x-x** et **y-y** ont une section de **30×65 cm²**.

On demande de :

- Déterminer les valeurs de la charge d'exploitation selon le Document Technique Réglementaire **DTR BC 2.2**.
- Vérifier la configuration du bâtiment vis-à-vis la régularité en plan et en élévation.
- Déterminer les déplacements du centre de masse au niveau de chaque étage composant la structure.
- Déterminer les valeurs d'excentricité entre le centre de masse et le centre de rigidité.
- Déterminer la valeur maximale des réactions d'appuis à l'ELS et à l'ELU.
- Déterminer les valeurs maximales des efforts internes (effort normal, effort tranchant et moment fléchissant) au niveau des poteaux et des poutres.
- Déterminer les efforts réduits du noyau de contreventement au niveau du Rez-De-Chaussée.
- Visualiser la déformée de la structure sous l'action des combinaisons statiques et sismiques.

Abréviations

- C.A.O.** : Conception Assistée par Ordinateur
- C.B.A. 93** : règles de Conception et de calcul des structures en Béton Armé 93
- C.Q.C.** : Combinaison Quadratique Complète
- C.S.A.O.** : Calcul de Structures Assisté par Ordinateur
- D.A.O.** : Dessin Assisté par Ordinateur
- D.T.R. BC 2.2** : Document Technique Réglementaire BC 2.2
- E.L.S.** : État Limite de Service
- E.L.U.** : État Limite Ultime
- ETABS** : Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems
- M.E.F** : Méthode des Éléments Finis
- R.P.A. 99 V2003** : Règlement Parasismique Algérien 99 Version 2003

Bibliographie

Khaled ARROUK (2012) Techniques de conception assistée par ordinateur (CAO) pour la caractérisation de l'espace de travail de robots manipulateurs parallèles, Thèse de doctorat, Université Blaise PASCAL – Clermont II - France.

Milan ZACEK (2004) Conception parasismique - Niveau Avant-projet, Collection CONCEPTION PARASISMIQUE.

ETABS (2011) Conception avancée des structures en béton - Introduction au logiciel ETABS, Computers and Structures , Inc., Bereley, California, USA.

Patricia BALANDIER (2001) Conception parasismique des bâtiments (structures) - Introduction à la dynamique des structures, Direction départementale de l'équipement, Martinique.

DTR B C 2-48 (2003) Règles parasismiques Algériennes 99 version 2003, Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, Algérie.

DTR B C 2-2 (1988) Charges permanentes et charges d'exploitation, Ministère de l'habitat, Algérie.

DTR B C 2-41 (1993) Règles de conception et de calcul des structures en béton armé CBA 93, Ministère de l'habitat, Algérie.

Eric BLAYO (2010) Notes de cours sur la méthode des éléments finis, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

André FILIATRAULT (1996) Éléments de génie parasismique et de calcul dynamique des structures, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.