

Extended **T**hree **D**imensional **A**nalysis of **B**uilding **S**ystems

ETABS

1. Introduction

A l'heure actuelle, on dispose de nombreux programmes basés sur la méthode des éléments finis M.E.F permettant le calcul automatique de structures diverses. L'ingénieur pourrait donc ignorer les principes de la M.E.F, 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 M.E.F, 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 M.E.F 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 presque sans effort les résultats fournis par l'ordinateur.

2. ETABS

ETABS est un logiciel de calcul et de conception des structures d'ingénierie particulièrement adapté aux bâtiments et ouvrage de génie civil. Il permet en un même environnement la saisie graphique des ouvrages de BTP avec une bibliothèque d'élément autorisant l'approche du comportement de ce type de structure. Il offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques avec des compléments de conception et de vérification des structures en béton armé, charpente métallique. Le post-processeur graphique disponible facilite

considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs.

2.1. Modélisation

Le logiciel permet d'effectuer les étapes de modélisation (définition de la géométrie, conditions aux limites, chargements de la structure, etc.) de façon totalement graphique, numérique ou combinées, en utilisant les innombrables outils disponibles.

En effet, une structure peut être composée en sous schémas (portiques, treillis, dalle, voile) chacun défini dans sa base graphique correspondante, ensuite assemblée en schéma final de calcul, pendant que la compatibilité des connections s'effectue automatiquement.

Par ailleurs, les éléments finis, associés à une des bases graphiques de génération de schéma (base de treillis, de portique, de trame de poutre, de dalle, etc.), sont directement paramétrés (Figure 1).

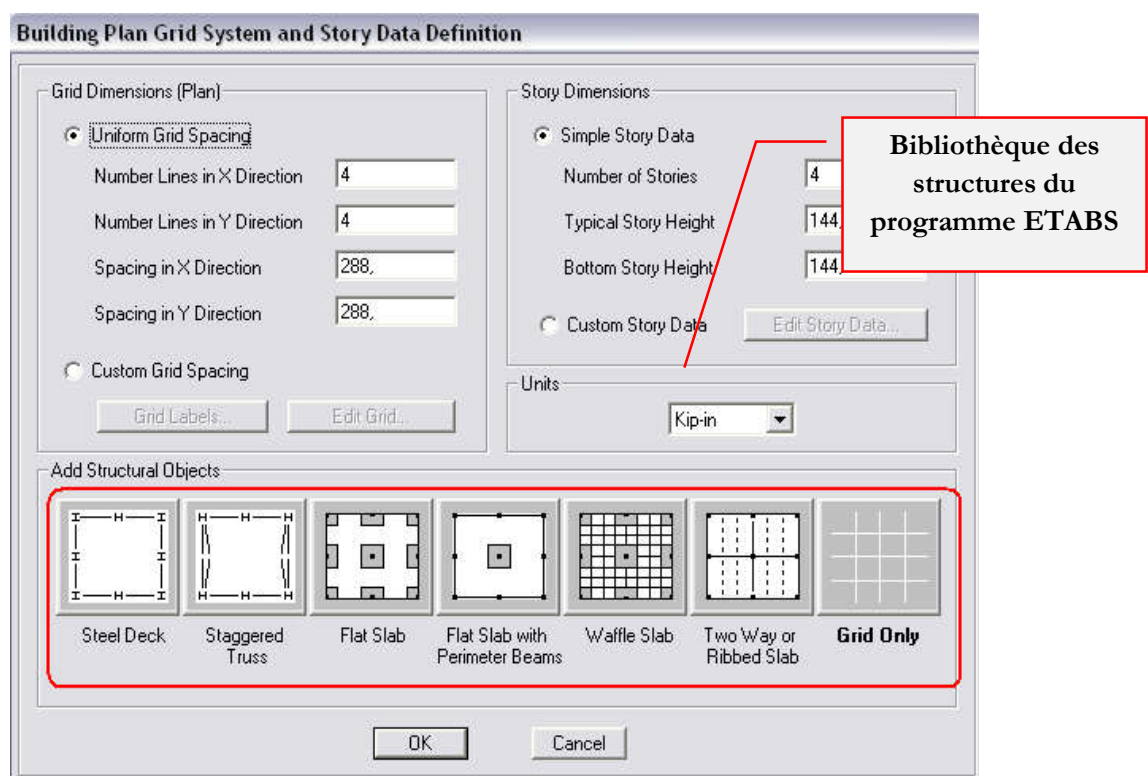


Figure 1. Bibliothèque des structures du programme ETABS

2.2. Analyse

Le programme offre les possibilités d'analyse suivantes :

- Analyse dynamique modale spectrale
- Analyse statique équivalente
- Analyse dynamique par des accélérogrammes
- Analyse dynamique non linéaire
- Analyse statique non linéaire, et analyse P-Delta

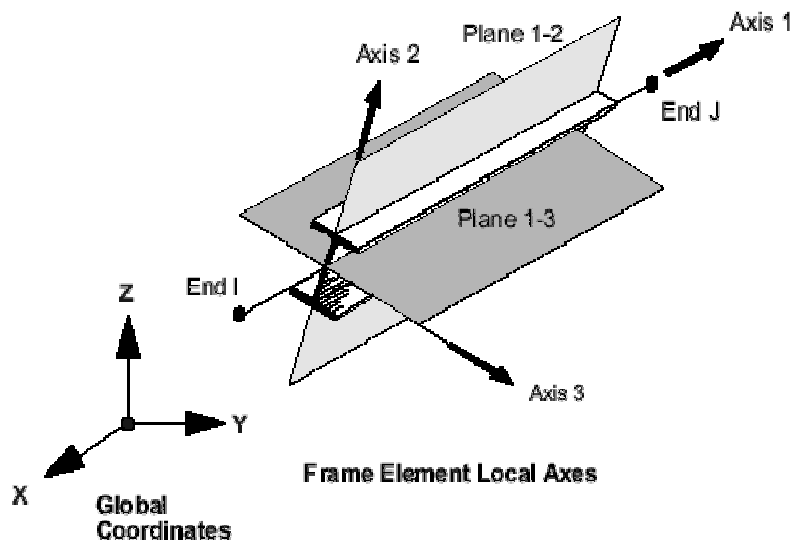
2.3. Post - processeur

Le logiciel ETABS facilite considérablement l'interprétation des résultats, en offrant notamment la possibilité de visualiser : la déformée du système, les diagrammes des efforts et courbes enveloppes, les champs de contraintes, les modes propres de vibration, etc.

2.4. Outils de Modélisation d'ETABS

2.4.1. Système de coordonnées

Pour définir une structure et son système de chargement, deux types de coordonnées sont utilisés. 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 et pour l'interprétation des efforts et par conséquent les résultats.



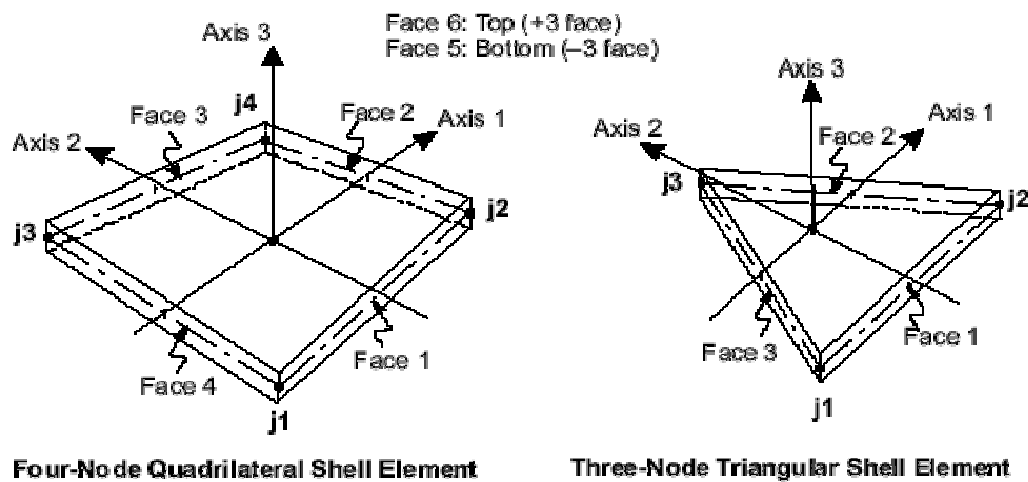


Figure 2. Axes locaux et globaux d'ETABS.

2.4.2. Élément « frame » type poteau - poutre

C'est l'élément unidimensionnel ayant six degrés de liberté aux nœuds, 3 translations et 3 rotations permettant de reprendre les 3 efforts et les 3 moments.

Les éléments poutres ainsi portiques peuvent être insérés à partir de la bibliothèque des structures d'ETABS en utilisant l'instruction «Grid Only»

Les modèles d'ETABS concernant les éléments FRAME, type poteau et poutre sont les suivants :

- Beam ;
- Portal frame ;
- Braced frame ;
- Eccentric frame ;
- Space frame ;
- Perimeter frame.

Après avoir choisir le modèle 'Grid Onlt', on doit spécifier les caractéristiques suivantes concernant les dimensions structurelles.

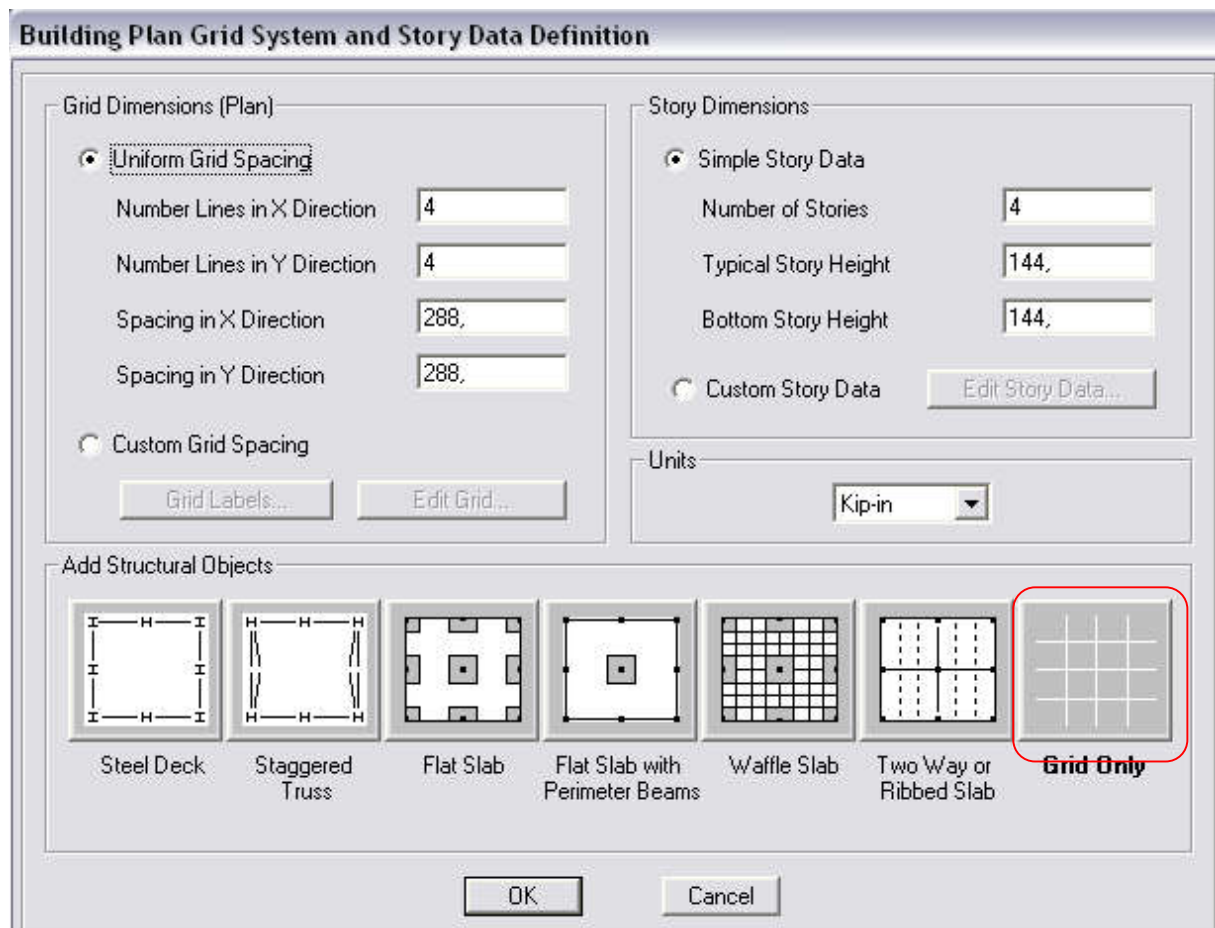


Figure 3. Menu de l'option Grid Only.

2.4.3. MENU « EDIT »

Le menu « EDIT » contient essentiellement les instructions concernant la modification de la géométrie structurelle de l'ouvrage modélisé.

2.4.3.1. MOVE (Déplacer)

Cette commande permet le déplacement linéaire dans les 03 directions X, Y et Z des nœuds, des éléments, d'une partie de structure, etc., selon la géométrie de l'ouvrage étudié.

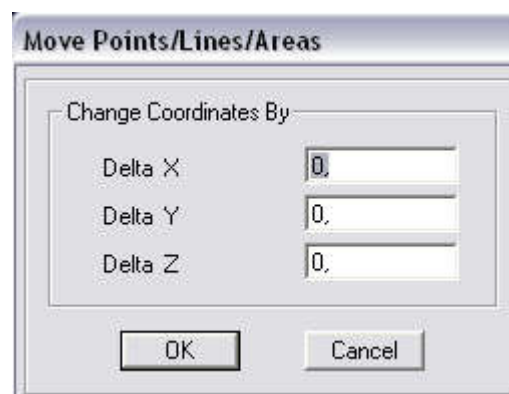


Figure 4. Menu de l'option MOVE.

2.4.3.2. DEVIDE FRAME (Subdiviser les éléments FRAME)

Cette instruction permet de subdiviser un élément FRAME en plusieurs éléments identique ou non. Cependant, l'élément FRAME peut être subdivisé par l'intersection avec le quadrillage choisi automatiquement au début ou obtenu par l'instruction EDIT GRID du menu DRAW.

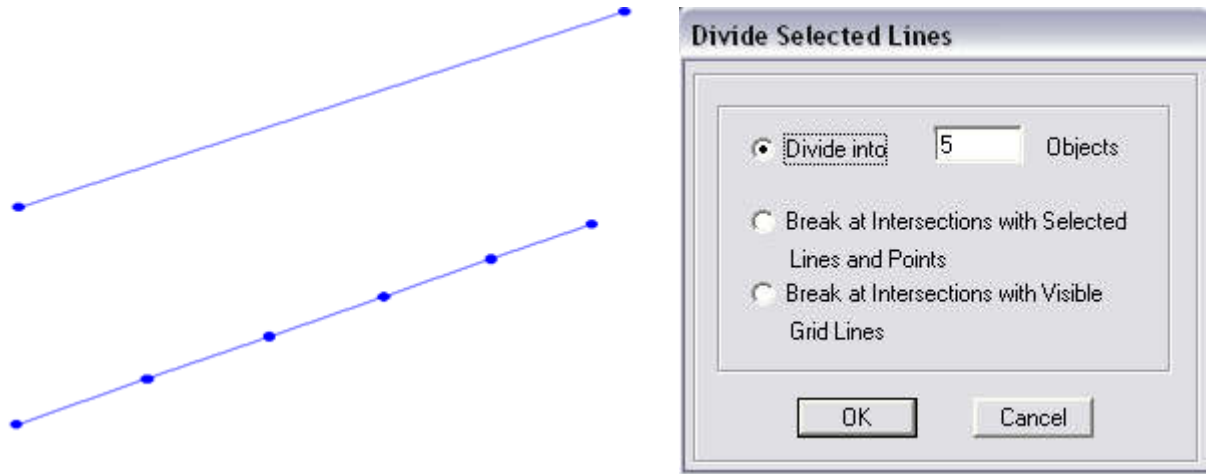


Figure 5. Exemple de subdivision de l'élément FRAME.

2.4.3.3. MESH SHELLS (Subdiviser les éléments SHELLS)

Même spécifications précédentes, sauf que, l'élément plaque est subdiviser dans les deux directions de ce dernier. En plus que l'élément plaque possède une subdivision dans les deux sens par l'intersection avec le quadrillage choisi, on peut le subdiviser en choisissant par la souris les nœuds où l'élément va être subdivisé.

Un élément poutre prend en compte avec exactitude tous les cas de charges qui lui sont imposés et il n'y a donc à priori aucun problème de précision. Par contre la taille des éléments plaques influe directement sur la convergence de la solution. En général plus la taille de l'élément n'est petite et raffinée plus les résultats de l'analyse sont exacts. Cependant, le temps d'exécution (nombre d'itérations numériques) augmente sensiblement avec le degré de raffinement des discrétisations. Dans un même modèle on peut utiliser des tailles différentes suivant la sensibilité de chaque région.

Une autre caractéristique relative aux dimensions de l'élément est le rapport de la plus grande dimension sur la plus petite dimension de l'élément. Un rapport proche de l'unité généralement offre des résultats meilleurs.

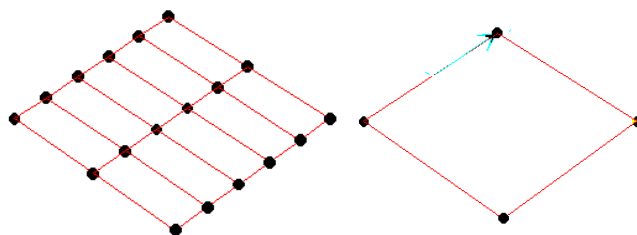


Figure 6. Exemple de raffinement d'une maille des éléments plaques.

2.4.4. MENU « DEFINE »

Les instructions de ce menu offre un outil facile pour la saisie des caractéristiques géométriques et mécaniques ainsi la définition des charges statiques et dynamiques.

2.4.4.1. MATERIALS (Propriétés des matériaux)

Cette instruction permet d'introduire les propriétés mécaniques et élastiques du matériau des éléments de la structure à modéliser.

Le logiciel ayant des caractéristiques par défaut des deux matériaux, le béton et l'acier qui peuvent être changées selon les caractéristiques demandées.

Des types de matériaux peuvent être personnalisés en introduisant les propriétés suivantes dans le menu réserver à cette option.

➤ Propriétés pour calcul

Mass per unit volume	Masse volumique
Weight per unit volume	Poids volumique
Modulus of elasticity d'élasticité	Module
Poisson's ratio Poisson	coeff. De
Coeff of thermal expansion	Gradient thermique

➤ Propriétés pour conception du béton armé

Reinforcing yield stress, f_y	Contrainte élastique des aciers (400MPa)
Concrete strength, f_c	Résistance caractéristique du béton (25MPa)
Shear steel yield stress, f_s	Contrainte de calcul des aciers (348MPa)
Concrete shear strength, f_{cs}	Résistance au cisaillement du béton (25MPa)

2.4.4.2. FRAME SECTIONS (Section des éléments FRAME)

Les caractéristiques géométriques des éléments doivent être spécifiées pour chaque groupe d'éléments de même dimensions.

Ces propriétés peuvent être introduites directement en termes de caractéristiques prismatiques, aire de section droite de la barre, moments d'inertie par rapport aux axes locaux 2 et 3, constante de torsion, hauteurs de la barre selon les axes locaux 2 et 3 pour prise en compte de déformations dues à l'effort tranchant.

Cependant, ces propriétés peuvent aussi être spécifiées en termes des dimensions clés de la section, et le programme (logiciel) calcule automatiquement les propriétés nécessaires pour l'analyse de la structure et pour la vérification de la structure.

ETABS présente aussi des possibilités de définition des caractéristiques géométriques à partir des bases de données (bibliothèque des profils métalliques) des profils acier standard ou des profils à inerties variables.

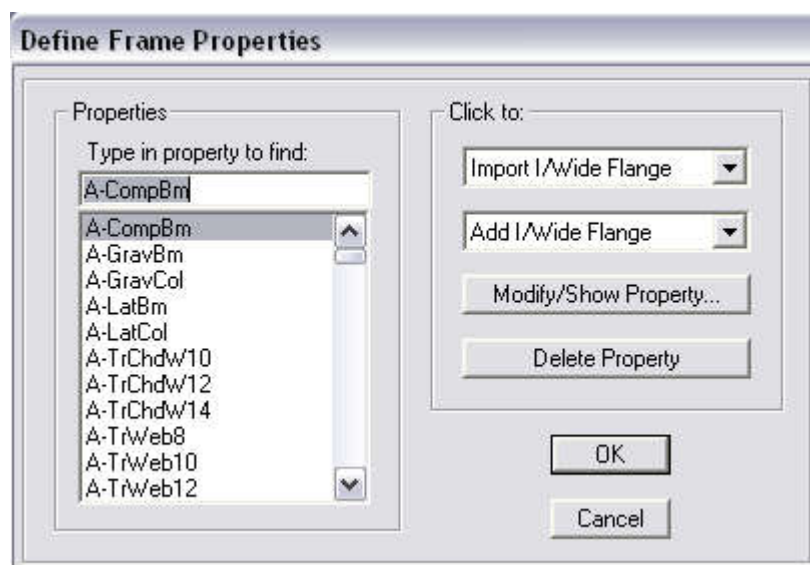


Figure 7. Menu des caractéristiques géométriques des éléments FRAME.

2.4.4.3. SHELLS SECTIONS (Section des éléments FRAME)

La section des éléments SHELLS est définie par l'épaisseur.

On distingue plusieurs types des éléments plaques qui sont :

- **Element Shells**

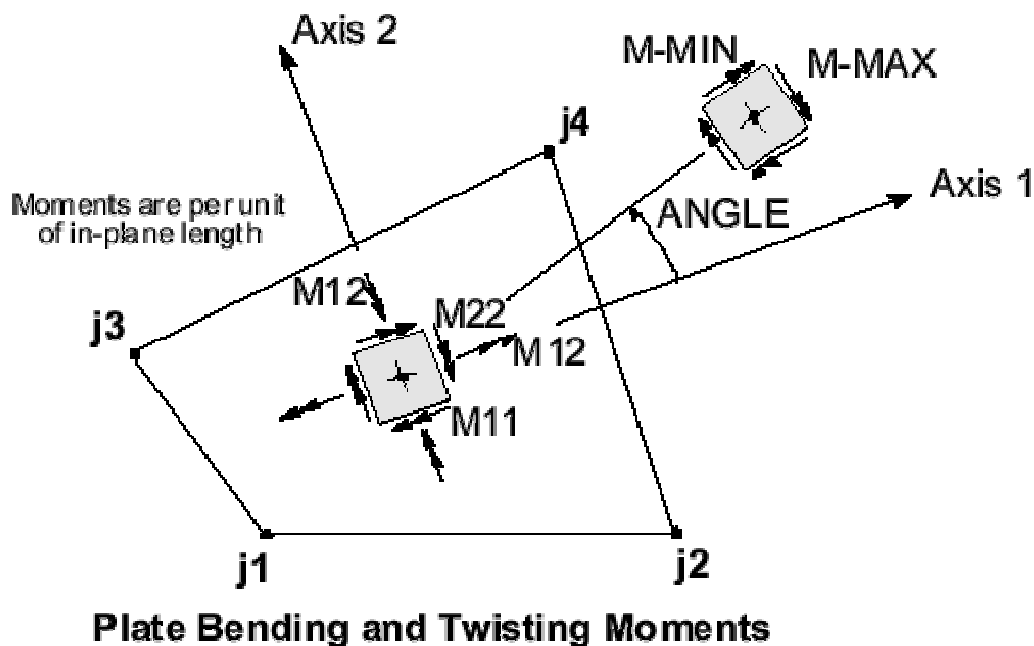
Ils sont utilisés pour la modélisation des voiles, dalles et coques. Ce type d'élément n'équilibre que les moments d'axes tangents à leur surface et des forces perpendiculaires au plan tangent. Trois degrés de liberté sont pris en compte en chaque nœud, deux rotations dans le plan tangent, une translation perpendiculaire au plan auxquels sont associés deux moments et une force.

- **Element Membrane**

L'élément membrane n'équilibre que les forces tangentes à sa surface, et ne peut donc transmettre des moments fléchissants, en pratique, ce type est utilisé pour les éléments minces.

- **Element Coque**

C'est la superposition de l'élément plaque et membrane (assemblage des deux schémas ci-dessous).



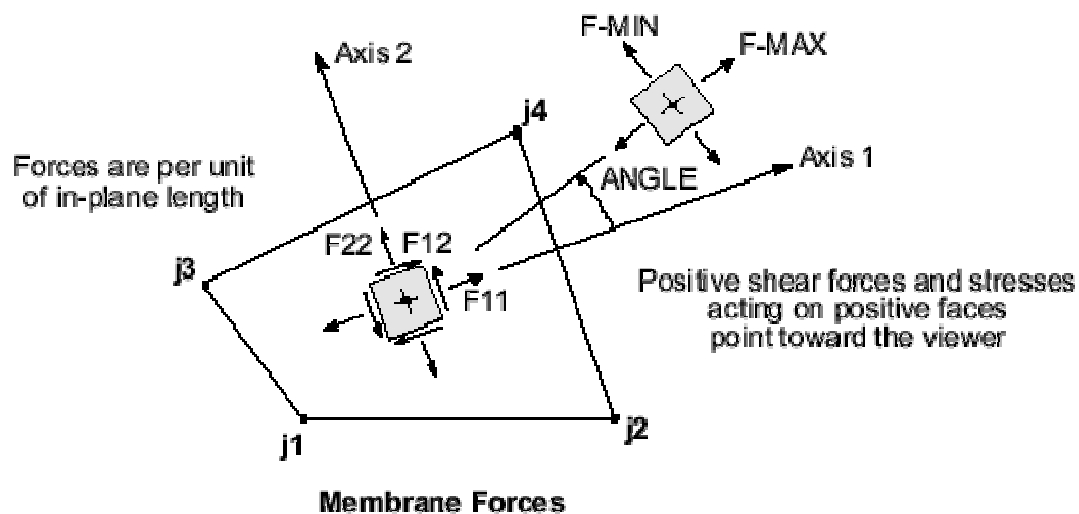


Figure 8. Efforts résultants des éléments bi-dimensionnels.

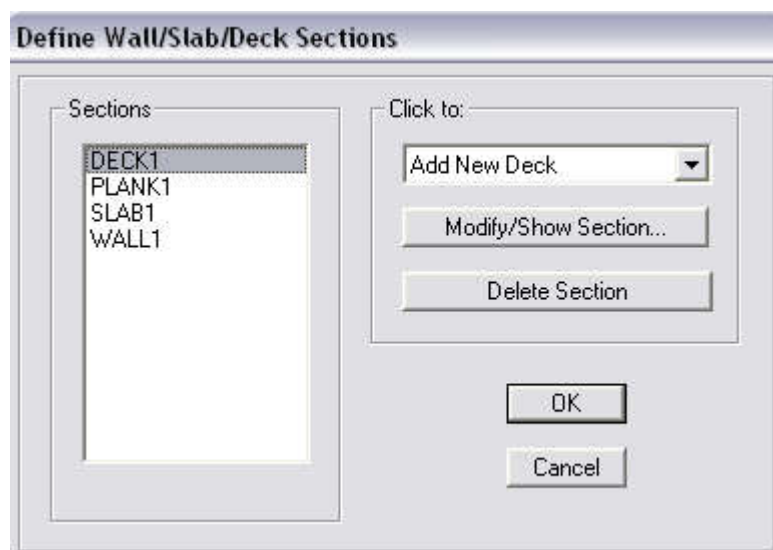


Figure 9. Menu Define Wall/Slab/Deck Sections.

2.4.4.4. STATIC LOAD CASES (Définition des cas de charges)

Cette option permet de définir plusieurs cas de charges et leurs types, telles que, on distingue les charges permanentes (DEAD), d'exploitations (LIVE), sismiques (QUAKE), du vent (WIND), de la neige (SNOW) et d'autres.

Le poids propre de la structure est pris en compte par le coefficient 01 dans les cas de charges. Ce coefficient peut être changé selon le cas. Par exemple le poids propre est annulé dans le cas de charge d'exploitation dont on remplace ce coefficient par 0.

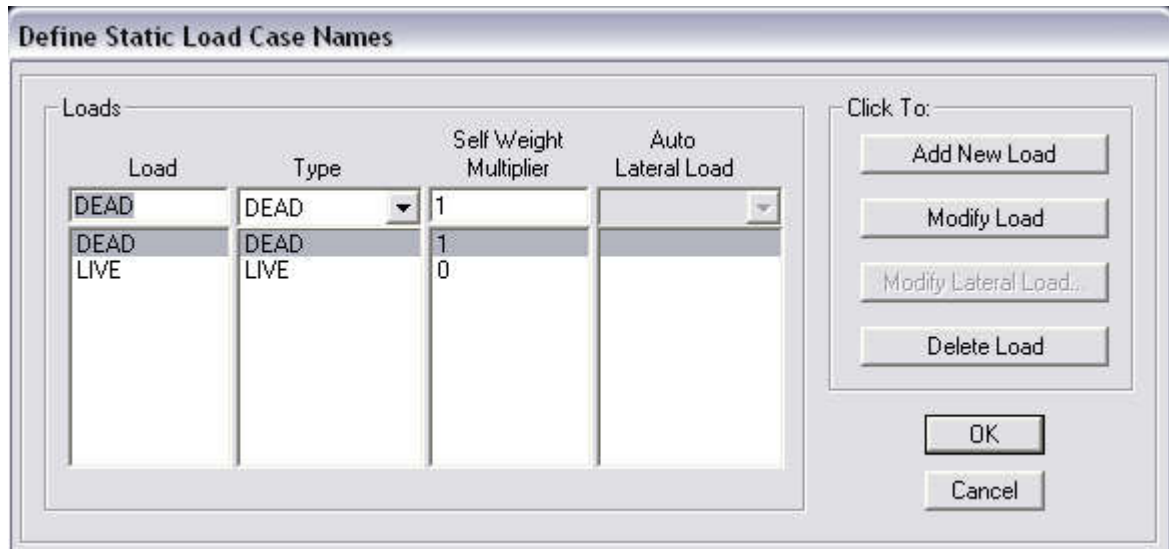


Figure 10. Menu de spécification des cas de charges.

2.4.4.5. RESPONSE SPECTRUM FUNCTIONS (Fonction du spectre de réponse)

Le logiciel ETABS contient dans sa base de données des spectres de réponse définis par le code sismique américain (Uniform Building Code) et qui sont les suivants UBC94S1, UBC94S2 et UBC94S33.

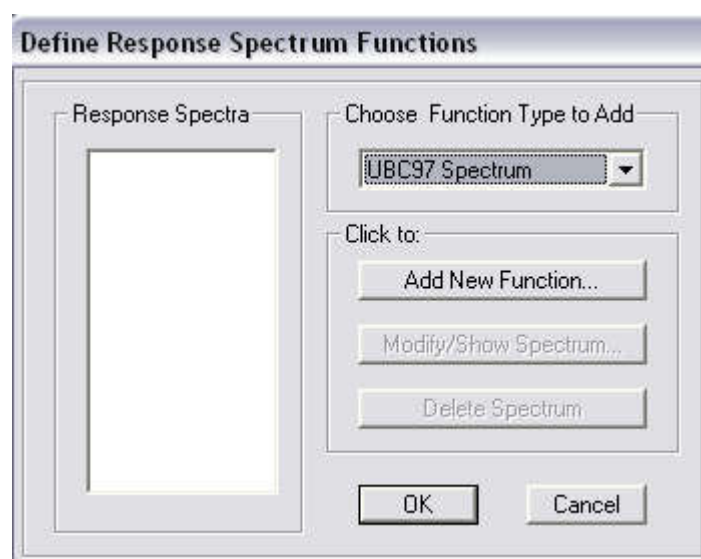


Figure 11. Menu de définition du spectre de réponse.

2.4.4.6. LOAD COMBINATIONS (Combinaisons de charges)

Cette instruction permet d'introduire les combinaisons de charges en multipliant chaque cas de charge par leur coefficient de majoration donnés par les règlements de calcul.

Ces combinaisons peuvent être spécifiées pour le calcul de conception du béton armé et charpente métallique selon les codes américains.

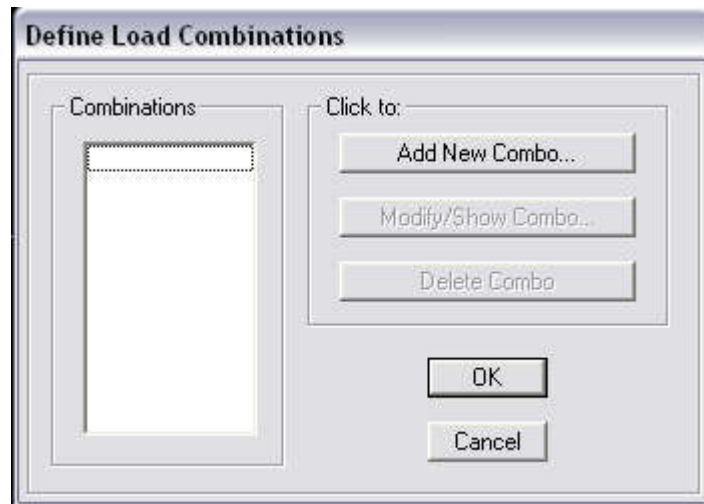


Figure 12. Menu concerne la saisie des combinaisons de charges.

2.4.5. MENU « ASSING »

Les instructions de ce menu permettent de définir les conditions d'appuis, les valeurs de chaque cas de charge, etc.

2.4.5.1. JOINTS (Nœuds)

➤ RESTRAINTS (Conditions aux appuis)

Les supports peuvent être spécifiés comme articulés, comme encastrés, ou comme encastrés avec certaines relaxations. Le support articulé est considéré être libéré en rotation, et bloqué en translation. ETABS permet aussi de spécifier des constantes de ressort, en translation ou rotation, ce qui permet la définition des appuis élastiques.



Figure 13. Différents types de supports.

L'utilisateur de programme doit spécifier en un certain nombre de nœud les modes de fixation de la structure avec le milieu extérieure (support), ainsi entre ces éléments.

En générale la liaison de deux éléments dans un nœud peut être une articulation, un encastrement ou blocage de quelques degrés de libertés. En ETABS, tous les nœuds sont reconnaître des nœuds rigides par défaut.

2.4.5.2. JOINT STATIC LOADS (Forces ou déplacements appliquées aux nœuds)

La spécification des charges consiste à traduire la nature des charges permanentes, de service ou accidentelles en un ensemble de forces, moments, déplacements ou accélérations appliqués aux nœuds des éléments. Le programme contient des outils de génération des charges qui permettent de définir sans calculs au préalable des charges telles que les différents cas de charges linéaires et surfaciques réparties, poids propre, les charges thermiques, de précontrainte, et doté aussi de générateurs de charges mobiles, du vent et sismiques.

Les charges peuvent être deux types : charges ponctuelle ou charges réparties. Les charges ponctuelles ou charges nodales sont les charges que l'utilisateur introduit explicitement sur certains nœuds du maillage, ces dernières peuvent être appliquées sous forme des forces nodales, des déplacements ou rotations des nœuds.

Les charges, forces ou moments, peuvent être appliquées à n'importe quel nœud de la structure. Ces charges agissent dans les directions du système global de coordonnées. Plusieurs charges peuvent être appliquées à chaque nœud, auquel cas les charges sont additionnées à ce point.

Figure 14. Exemple de charges aux nœuds.

2.4.5.3. FRAME STATIC LOADS (Charges appliquées sur les éléments FRAME)

Les charges appliquées sur les éléments FRAME peuvent être sous plusieurs formes dont on site :

- Charges uniformément réparties.
- Charges trapézoïdales.
- Charges ponctuelles.
- Charges de température.

Les charges (forces ou moments) sont orientées selon les axes globaux de la structure. Ces dernières sont spécifiées par leurs directions du chargement, points d'application pour les charges ponctuelles et trapézoïdales et ses valeurs.

Le programme calcule la contrainte axiale (allongement ou raccourcissement) due à la différence de température, en introduisant la différence de température ($T^{\circ}\text{max}$ et $T^{\circ}\text{min}$).

Frame Distributed Loads

Load Case Name: DEAD Units: Kip-in

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
 Direction: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

	1	2	3	4
Distance	0,	0.25	0.75	1,
Load	0,	0,	0,	0,

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load
 Load: 0,

OK Cancel

Figure 15. Exemples de charges sur éléments FRAME.

2.4.5.4. SHELLE STATIC LOADS (Charges surfacique)

ETABS permet de spécifier les charges surfaciques sur les éléments bidimensionnels. Le programme fourni pour cette charge d'être uniformément répartie par m^2 selon les axes locaux ou globaux.

La charge thermique peut être spécifiée comme un gradient de températures entre les conditions de montage et les conditions de service, ce qui entraîne un allongement ou un raccourcissement de la barre.

Uniform Surface Loads

Load Case Name: DEAD Units: Kip-in

Uniform Load
 Load: 0,
 Direction: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Figure 16. Menu concerne la spécification des charges surfaciques.

2.4.6. MENU « ANALYZE »

2.4.6.1. ANALYSE STATIQUE LINEAIRE

Un calcul statique linéaire permet de déterminer le champ de déplacement, les réactions aux appuis, les efforts internes aux nœuds et le champ de contraintes qui existent dans une structure soumise à divers chargements statiques plusieurs hypothèses sont faites implicitement :

- 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 inconnues (déplacement) ainsi obtenu est résolu en utilisant la méthode de décomposition de Cholesky qui est bien adapté pour ce type de problèmes.

2.4.6.2. ANALYSE P-DELTA

L'analyse P-Delta, également connue sous le nom d'analyse au second ordre, permet de prendre en compte les effets des chargements axiaux sur le comportement en flexion des éléments. ETABS utilise un algorithme de calcul simple et efficace basé sur la réformation du vecteur force en fonction des déformations subies par la structure en gardant la matrice de rigidité constante. Les étapes de calcul se résument en ce qui suit :

- Calcul des déformations sous le cas de charge initial.
- Calcul des charges secondaires dues aux déplacements des nœuds associés aux efforts normaux. Ces nouveaux vecteurs de charges sont ajoutés aux vecteurs de charges initiales.
- Calcul des déformations et des efforts avec la même matrice de rigidité sous l'effet du vecteur force corrigé.

Cette méthode est particulièrement utile pour la considération des effets de la gravité sur la rigidité latérale des structures, comme exigé par certains codes.

2.4.6.3. ANALYSE DYNAMIQUE

L'analyse dynamique disponible dans ETABS comporte l'analyse modale, l'analyse spectrale et l'analyse temporelle.

- **Analyse modale**

L'analyse modale permet de déterminer les modes et fréquences propres des structures.

Puisqu'il n'existe aucune force extérieure, les fréquences naturelles et les modes propres sont directement fonction de la rigidité et de la distribution des masses des structures. Par conséquent, le résultat du calcul des fréquences et des modes propres peut varier considérablement en fonction de la modélisation des masses.

- **Analyse spectrale**

L'analyse spectrale permet de calculer la réponse sismique d'une structure en utilisant un spectre de réponse. Les réponses modales sont combinées en utilisant la méthode de la combinaison quadratique complète CQC (Complète Quadratic Combination) ou SRSS. Les résultats de l'analyse spectrale peuvent être combinés avec les résultats de l'analyse statique pour le dimensionnement de la structure. Pour prendre en compte la réversibilité des charges sismiques, les combinaisons de charges peuvent être créées en incluant les contributions du calcul sismique avec le signe -/+.

- **Analyse dynamique temporelle**

Pour des cas d'analyse où une étude dynamique temporelle déterministe est exigée, ETABS offre la possibilité de calcul de la réponse d'une structure sous l'effet d'un chargement dynamique quelconque appliqué au nœud ou d'un mouvement du sol (à la base). Le calcul est basé sur la méthode de la superposition modale, qui donne la réponse de la structure.

La procédure consiste d'abord à calculer les modes et fréquences propres du système pour calculer la matrice de masse généralisée et le vecteur de chargement généralisé qui serviront par la suite pour le découplage des équations différentielles du mouvement. La réponse modale au chargement imposé est calculée par la méthode d'intégration numérique en utilisant l'algorithme de Wilson- θ avec un pas de temps constant choisi par l'utilisateur de l'ordre de $0.1T$ (T étant la période du mode le plus élevé à inclure dans la réponse). Enfin la réponse est exprimée en fonction des coordonnées géométriques, des efforts dans les éléments et des réactions d'appuis.

EXEMPLE D'APPLICATION

La modélisation sur ETABS consiste en les étapes suivantes :

- Entrer la géométrie du modèle (position des nœuds, connectivité des éléments).
- Spécifier les propriétés des éléments et les assigner aux éléments.
- Définir les cas de charges (statique et dynamique) et assigner ces charges aux nœuds et aux éléments.
- Spécifier les conditions aux limites (appuis, diaphragmes, ...etc).
- Démarrer l'exécution du problème, apporter des corrections au modèle s'il y a lieu.
- Visualiser les résultats (à l'écran, sur fichier, etc...).

PORTIQUE AUTOSTABLE EN B.A EN R+4

1.1. Description du Bâtiment

La structure étudiée est un bâtiment en béton armé à usage d'habitation implanté en zone 2.

1.1.1. Dimensions en Plan de la Structure

Longueur (X)	18.30 m
Largeur (Y)	08.80 m
Hauteur (Z)	16.00 m

Charges permanentes G

Plancher terrasse	$G = 5.50 \text{ KN/m}^2$
Plancher courant	$G = 5.00 \text{ KN/m}^2$
Surcharges d'exploitations Q	
Plancher terrasse	$Q = 1.00 \text{ KN/m}^2$

Plancher courant

$$Q = 1.50 \text{ KN/m}^2$$

1.1.2. 1.1.2. Définition des Cas de Charges

G : charge permanente.

Q : charge d'exploitation.

Ex : charge dynamique spectrale selon x

Ey : charge dynamique spectrale selon y

1.1.3. Définition des Combinaisons de Charge.

$$G + Q$$

$$1.35 G + 1.5 Q$$

$$G + Q \pm E$$

$$G + Q \pm 1.2 E$$

$$0.8 G \pm E$$

1.1.4. Calcul des Masses pour l'Analyse Modale

Les masses des planchers sont calculées comme suit : $W = W_p + \beta W_q$

W_p : poids propre

$$\beta = 0.2$$

Q = Surcharge d'exploitation. $W = 700 \text{ t}$

1.1.5. Calcul des Charges Statiques Equivalentes Ex1,y1 :

Les charges statiques équivalentes sont calculées selon la méthode donnée par le RPA99 :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

où : $A = 0.15$; $D = 2.2$; $Q = 1.20$; $R = 3.5$ d'où : $V = 79.2 \text{ t}$

Distribution des Charges Statiques :

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

F_i : force horizontale au niveau i .

h_i : niveau du plancher.

F_t : force concentrée au sommet de la structure.

$$\Rightarrow F_i = \frac{V_t W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

F1 = 208.00 KN

F2 = 146.85 KN

F3 = 144.66 KN

F4 = 145.02 KN

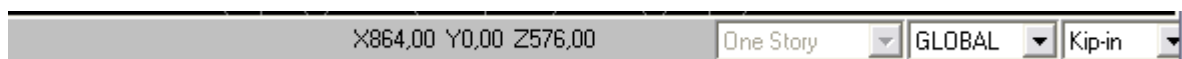
F5 = 147.41 KN

1.2. Etape N°1 : Définir la Géométrie du Modèle

La première étape consiste à définir la géométrie de la structure à modéliser.

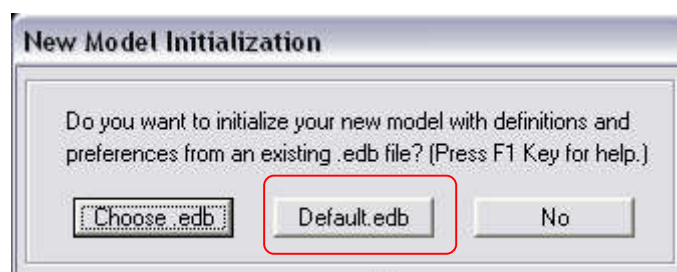
1.2.1. Choix des Unités

vous devez choisir un système d'unités pour la saisie des données dans ETABS. Au bas de l'écran, sélectionnez par exemple l'unité (KN.m) comme unités de base pour les forces et déplacements.



1.2.2. Géométrie de Base

Sélectionnez **New model initialisation** dans le menu File. Cette option permet de créer rapidement un modèle "régulier", en utilisant des **templates prédéfinis**.



Building Plan Grid System and Story Data Definition

Grid Dimensions (Plan)

☒ Uniform Grid Spacing

Number Lines in X Direction:

Number Lines in Y Direction:

Spacing in X Direction:

Spacing in Y Direction:

☐ Custom Grid Spacing

Story Dimensions

☒ Simple Story Data

Number of Stories:

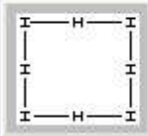
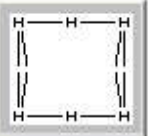
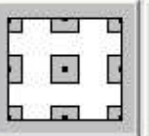
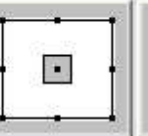
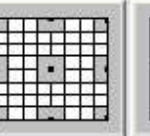
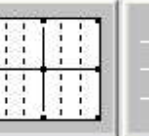
Typical Story Height:

Bottom Story Height:

☐ Custom Story Data

Units:

Add Structural Objects


Steel Deck

Staggered Truss

Flat Slab

Flat Slab with Perimeter Beams

Waffle Slab

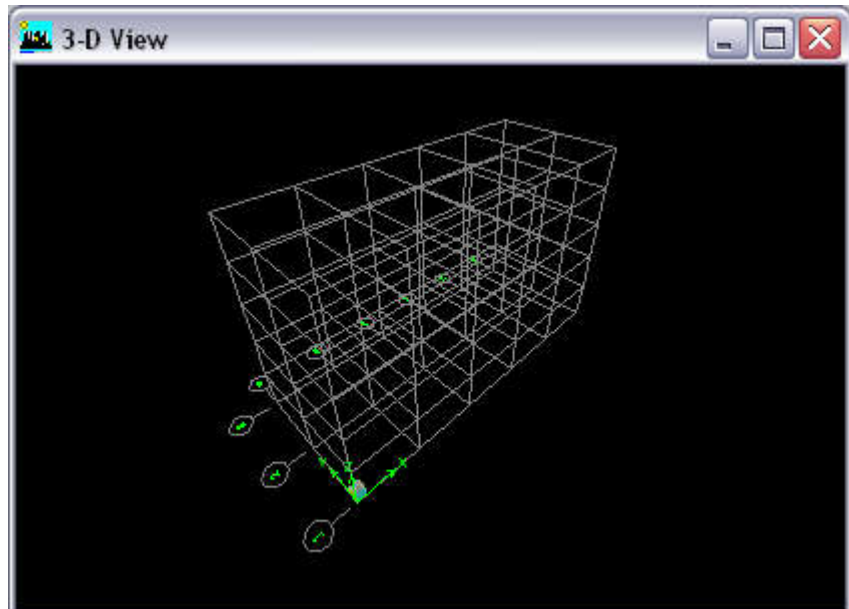
Two Way or Ribbed Slab

Grid Only

Comme il s'agit d'une structure tridimensionnelle, sélectionnez l'icône suivante



Vous devez spécifier le nombre d'étages, le nombre de travées suivant X et Y, hauteur de l'étage et la largeur des travées suivant X et Y. Entrez les données précédentes, même si le bâtiment est irrégulier (les changements seront effectués plus tard). La fenêtre suivante présente les données de notre exemple.



Deux vues du modèle sont affichées (3D et 2D). Si vous maximiser une fenêtre et que le modèle n'est plus centré, cliquez sur l'icône Restore full view , le modèle défini ressemble à ceci :

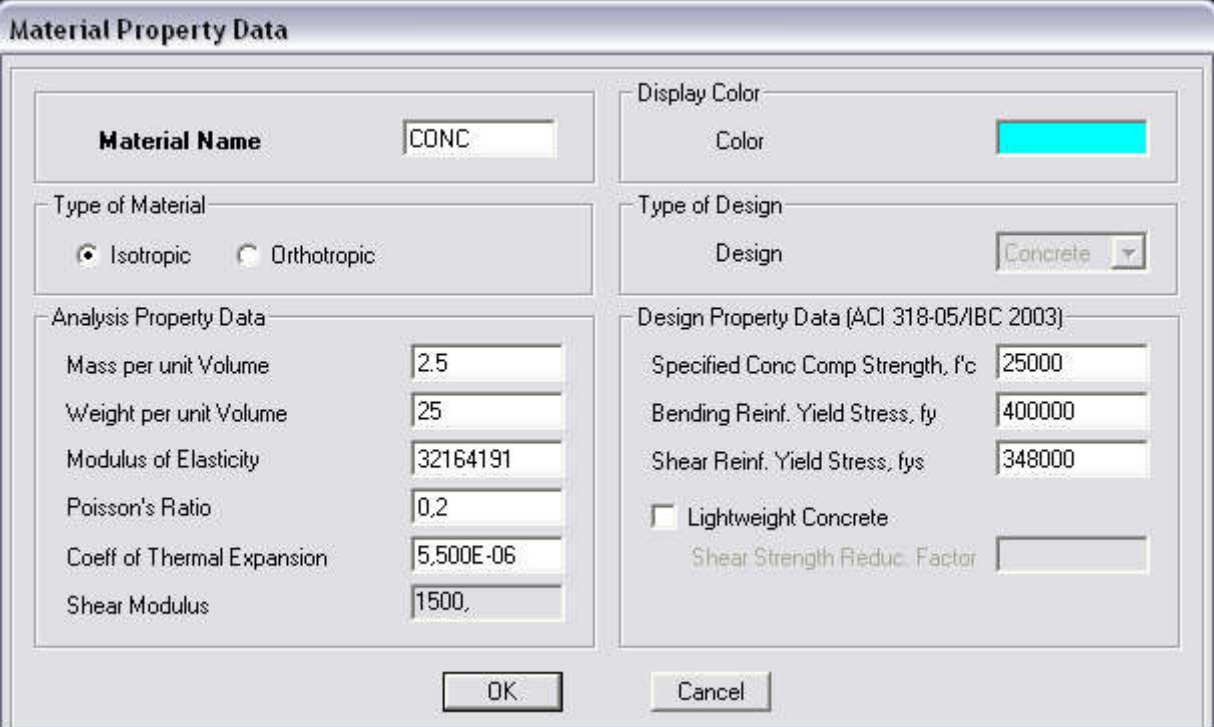
Sauvegarder votre modèle à l'aide du menu File et Save. Vous devez spécifier le dossier de sauvegarde et le nom du fichier. Vous pouvez également cliquer sur l'icône .

1.3. Etape N°2 : Spécification des Propriétés des Eléments

La deuxième étape consiste à spécifier les propriétés des éléments.

1.3.1. Définition du Matériau

Sélectionnez Define et Materials puis Modify/Show Material pour visualiser ou modifier les caractéristiques d'un matériau déjà existant dans la bibliothèque d'ETABS ou Define et Materials puis Add New Material pour ajouter un nouveau matériau, dans les deux cas, la fenêtre suivante apparaît où vous devez préciser pour le matériau le nom dans Material Type, le type dans Type of Material, la masse volumique, le poids volumique, le module d'élasticité, le coefficient de poisson et le coefficient de dilatation thermique dans Analysis Property Data.



The image shows a software dialog box titled "Material Property Data". It is divided into several sections for defining material properties. The "Material Name" field contains "CONC". The "Type of Material" section has "Isotropic" selected. The "Analysis Property Data" section contains numerical values for mass, weight, modulus, Poisson's ratio, thermal expansion, and shear modulus. The "Design Property Data" section contains values for concrete strength and reinforcement yield stress, with a checkbox for "Lightweight Concrete".

Section	Property	Value
Material Name	Material Name	CONC
	Display Color	[Cyan Color Box]
Type of Material	Type of Material	Isotropic (selected)
	Type of Design	Concrete (dropdown)
Analysis Property Data	Mass per unit Volume	2.5
	Weight per unit Volume	25
	Modulus of Elasticity	32164191
	Poisson's Ratio	0.2
	Coeff of Thermal Expansion	5.500E-06
	Shear Modulus	1500.
Design Property Data (ACI 318-05/IBC 2003)	Specified Conc Comp Strength, f'c	25000
	Bending Reinf. Yield Stress, fy	400000
	Shear Reinf. Yield Stress, fys	348000
	Lightweight Concrete	☐

Cliquez "OK" et reprendre cette opération pour définir d'autres matériaux.

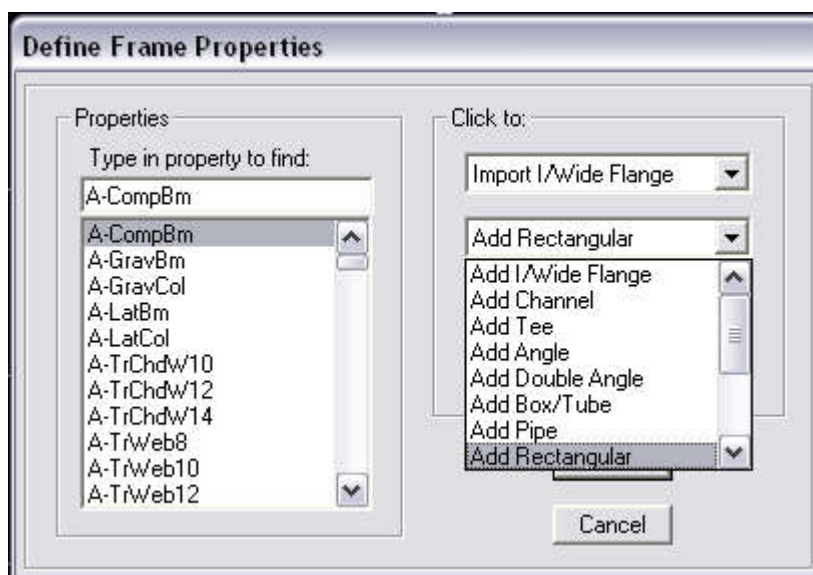
1.3.2. Choix des Sections

Il existe une multitude de sections prédéfinies dans ETABS. Il est possible, par exemple, de choisir parmi une longue liste de profilés en acier contenant toutes les informations pour une section donnée (E, A, I, etc...). Pour l'exemple considéré ici, comme les sections ne sont pas standard, il faut d'abord définir les nouvelles sections pour les poutres et poteaux. Il faut ensuite les affecter aux éléments correspondants.

1.3.3. Définition des Sections

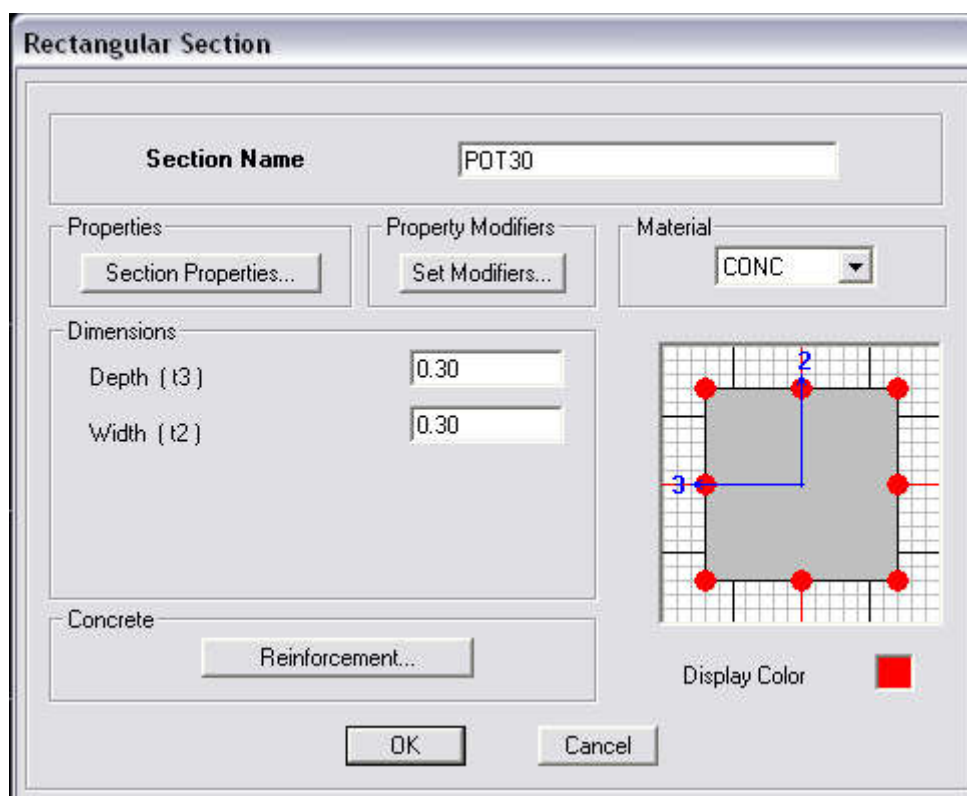
Sélectionnez Define et Frames Sections puis Import/Wide Flange pour importer une section prédéfinie dans la bibliothèque d'ETABS ou Define et Frames Sections puis Add Rectangular pour définir une section rectangulaire.

La fenêtre suivante apparaît, vous devez préciser pour chaque section le nom dans Section Name, le type du matériau dans Material et les dimensions (largeur et hauteur) dans Dimensions. Ainsi, choisissez POT35 comme nom de section des poteaux de RDC et de 1er étage de dimensions 35x35 et inscrivez les dimensions, en mètres, des deux côtés (0.35x0.35m). Sélectionnez le matériau MAT pour le béton.



Cliquez "OK" et répéter cette opération en choisissant comme nom de section:

- POT30 pour définir la section des poteaux de dimensions 30x30
- P30 pour définir la section des poutres de dimensions 30x30
- P40X30 pour définir la section des poutres de dimensions 40x30.



1.3.4. Affectation des Sections aux Eléments de Structures

Les sections POT35, POT30, P30 et P40X30 ont été définies et le matériau MAT correspond aux propriétés du béton du bâtiment considéré. Il faut maintenant affecter ces propriétés aux éléments appropriés.

Pour affecter la section POT35 aux poteaux du RDC et 1er étage par exemple, présentez la structure du bâtiment dans le plan XZ ou XY sur l'une des vues du modèle affichées (3D et 2D) sur écran. Cliquez sur l'icône Clear dans la barre d'outils flottante pour éliminer toute sélection.

Note : Cette icône n'est active que s'il y a déjà une sélection effectuée.

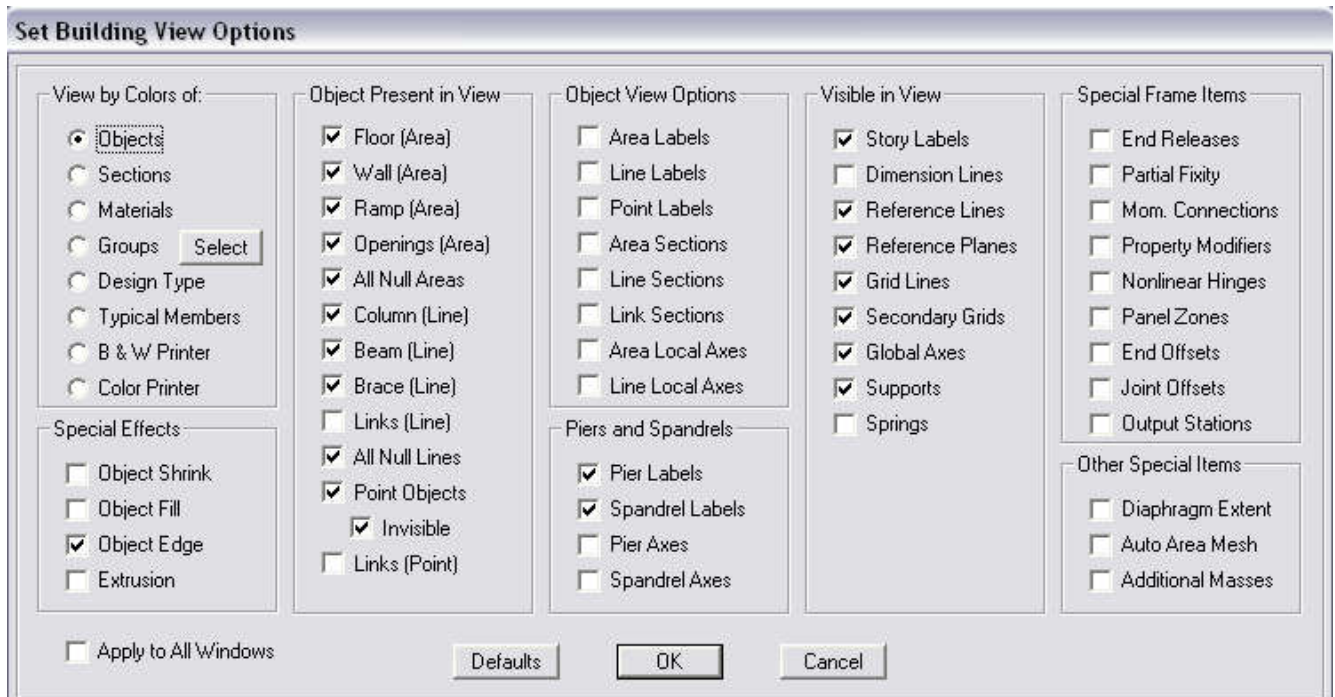
Sélectionnez dans le plan choisi les poteaux concernés (poteaux 1er et 2ème étage) à l'aide de l'icône  dans la barre d'outils flottante. Ceci permet de tracer une ligne avec la souris et de sélectionner tous les éléments croisés par la ligne. Répéter cette opération pour les poteaux appartenant aux plans parallèles au plan choisi à l'aide des icônes  . On attribue les sections avec le menu Assign, puis Frame et Sections. Choisissez dans ce cas la section POT35 qui convient aux poteaux sélectionnés. En cliquant sur "OK" le nom de la section apparaîtra sur la fenêtre active. Reprendre l'opération pour tous les poteaux de la structure en choisissant les sections adéquates.

Cette opération est aussi utilisée pour attribuer les sections déjà définies aux poutres, néanmoins, pour sélectionner les poutres, on doit, cette fois-ci, représenter la structure du bâtiment dans le plan XY.

1.3.5. Affichage d'Information sur le Modèle

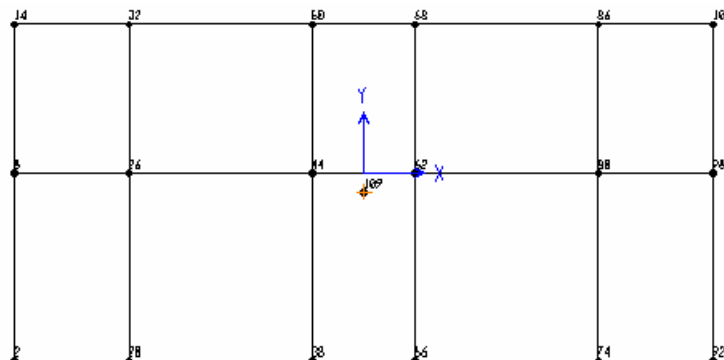
Il est possible d'afficher différentes informations (numéros de nœuds, d'éléments,...etc) sur le modèle.

Cliquez sur l'icône Set elements  choisissez les options d'affichage suivantes :



The dialog box 'Set Building View Options' contains several groups of checkboxes for configuring the view of a building model. The 'View by Colors of:' group has 'Objects' selected. The 'Object Present in View' group has checkboxes for Floor (Area), Wall (Area), Ramp (Area), Openings (Area), All Null Areas, Column (Line), Beam (Line), Brace (Line), Links (Line), All Null Lines, Point Objects, and Links (Point). The 'Object View Options' group has checkboxes for Area Labels, Line Labels, Point Labels, Area Sections, Line Sections, Link Sections, Area Local Axes, and Line Local Axes. The 'Piers and Spandrels' group has checkboxes for Pier Labels, Spandrel Labels, Pier Axes, and Spandrel Axes. The 'Visible in View' group has checkboxes for Story Labels, Dimension Lines, Reference Lines, Reference Planes, Grid Lines, Secondary Grids, Global Axes, Supports, and Springs. The 'Special Frame Items' group has checkboxes for End Releases, Partial Fixity, Mom. Connections, Property Modifiers, Nonlinear Hinges, Panel Zones, End Offsets, Joint Offsets, and Output Stations. The 'Other Special Items' group has checkboxes for Diaphragm Extent, Auto Area Mesh, and Additional Masses. The 'Special Effects' group has checkboxes for Object Shrink, Object Fill, Object Edge, and Extrusion. At the bottom, there is an 'Apply to All Windows' checkbox and buttons for 'Defaults', 'OK', and 'Cancel'.

Si nous choisissons le plancher du 1er étage sur l'une des deux fenêtres, le plancher affiché est comme suit :



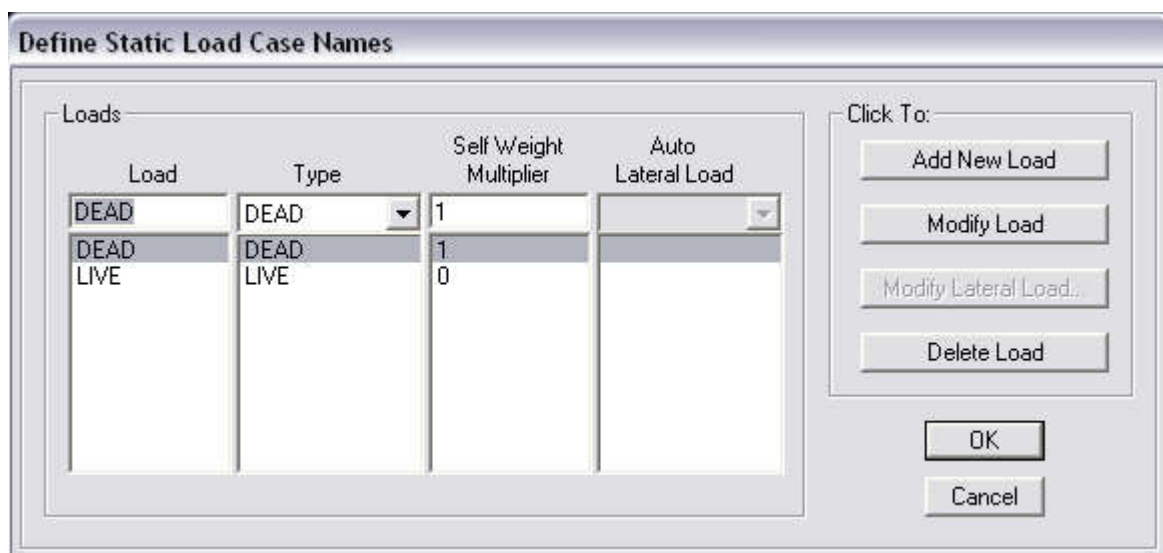
1.4. Etape N°3 : Définition des Cas de Charges

Pour ETABS, chaque cas de chargement doit être défini de façon générale. Les charges sont ensuite appliquées sur les nœuds et les éléments appropriés et associés à un cas de chargement existant. L'exemple traité ici comporte les cas de chargement suivants :

- La charge permanente G,
- La surcharge d'exploitation P,
- Les charges sismiques Ex et Ey dans les cas de la méthode statique équivalente,
- Les fonctions de spectres de réponse SPCX et SPCY dans le cas de la méthode spectrale.

1.4.1. Cas de Charges Statiques (Permanent et d'Exploitation)

Sélectionnez Static Load Cases dans le menu Define. Cette option permet de créer les cas de chargement statique désiré.

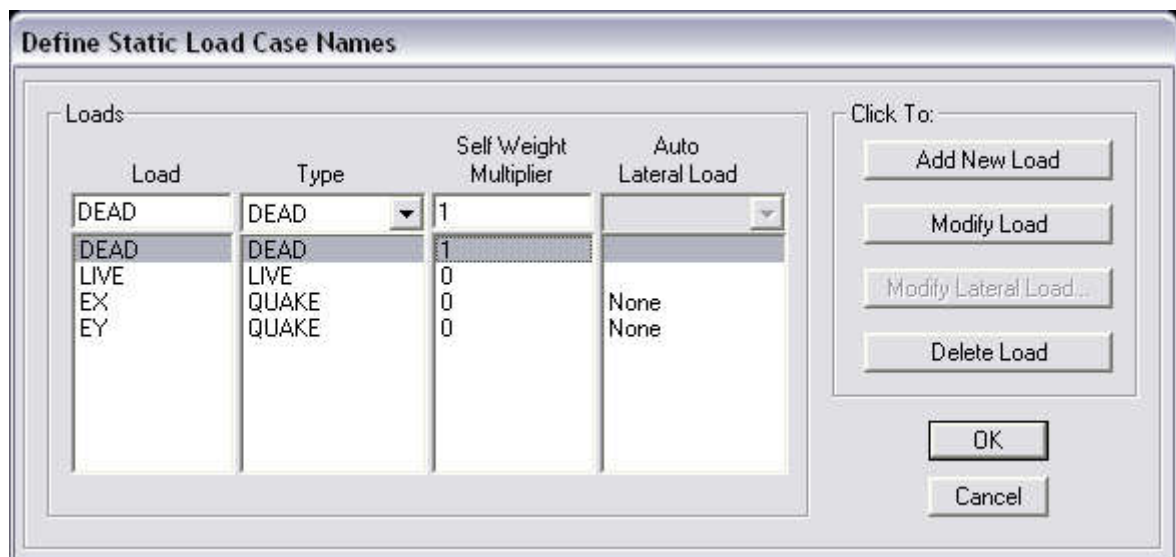


Dans le cas du chargement permanent G et si Self Weight Multiplier est pris égal à 1, le poids propre des éléments de structure sera considéré automatiquement par le logiciel dans le calcul. Dans le cas contraire, le logiciel néglige le poids propre des éléments de structures.

1.4.2. Cas de Charges Sismiques

1. Méthode Statique Equivalente

Si la structure répond aux spécifications de l'application de la méthode statique équivalente présentées dans le RPA99, le chargement sismique sera considéré comme une force statique appliquée aux nœuds maîtres des planchers. Ainsi, pour introduire cette force : Sélectionnez Static Load Cases dans le menu Define. Cette option permet de créer les cas de chargement statique EX et EY.



2. Méthode d'Analyse Modale Spectrale (Spectre de Réponse)

Pour charger le fichier de la fonction de spectre de réponse déjà créé et sauvegardé dans votre répertoire sous le nom de "spectre.dat" par exemple, en deux colonnes, une colonne des périodes et une colonne des accélérations, cliquez dans le menu Define puis Response Spectrum Functions et Add Function from File.

La fenêtre ci-dessous apparaît sur écran, vous devez entrez selon la direction X par exemple :

"SPCX" Nom de la fonction de spectre de réponse dans Function Name, "Spectre.dat" nom du fichier dans Open File, Sélectionnez la boîte Period and Acceleration value.

Response Spectrum Function Definition

Function Name **Function Damping Ratio**

Function File

File Name

Header Lines to Skip

Values are:

☐ Frequency vs Value

☒ Period vs Value

Function Graph

Cliquez "OK" et répéter les étapes de l'opération précédente pour introduire les données relatives à la direction d'excitation Y. Voir l'introduction des données sur les fenêtres suivantes :

Note : Si vous sélectionnez la boîte Function at equal period step of, il est nécessaire d'introduire le pas des périodes et le nombre de point par ligne dans la boîte Number of points per line (ces points représentent les valeurs d'accélération par ligne dans le fichier choisi).

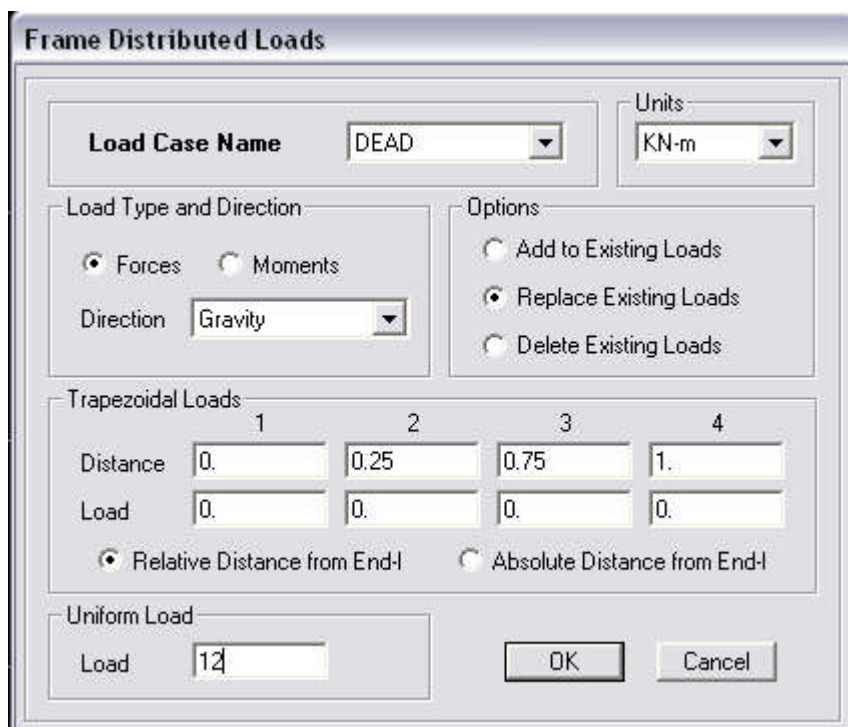
1.4.3. Affectation des Charges Statiques

Pour affecter les charges statiques verticales définies aux poutres, on doit d'abord présenter la structure du bâtiment dans le plan XY, le premier étage par exemple, sur l'une des vues affichées du modèle (3D et 2D) sur écran. Cliquez sur l'icône Clear dans la barre d'outils flottante pour éliminer toute sélection.

Sélectionnez dans le plan choisi les poutres à charger à l'aide de l'icône  dans la barre d'outils flottante. Répéter cette opération pour les poutres ayant un chargement égal et appartenant aux plans supérieurs à l'aide de l'icône .

On attribue le chargement avec le menu Assign, puis Frame Static Loads et Point and Uniform ou Trapezoidal pour un chargement uniforme et concentré ou trapézoïdal respectivement.

En cliquant sur Point and Uniform, la fenêtre suivante apparaît, vous devez préciser le nom de cas de charge à attribuer (charge permanente G par exemple), le type de la charge (forces ou moments), le sens d'application de la charge et la valeur de la charge dans Uniform Loads.



Load Case Name		Units
DEAD		KN-m

Load Type and Direction		Options
☒ Forces	☐ Moments	☐ Add to Existing Loads
Direction: Gravity		☒ Replace Existing Loads
		☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads				
	1	2	3	4
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load
Load: 12

OK Cancel

Note : Pour un chargement concentré (permanent ou d'exploitation), on doit préciser la position et la valeur de ce dernier dans Point Loads.

1.4.4. Combinaisons d'Actions

On introduit les combinaisons d'action dans le menu Define, puis Loads combinaison et Add New Comb. Sur la fenêtre qui apparaît sur écran vous devez préciser pour la combinaison de l'état limite ultime par exemple ce qui suit :

"ELU" Nom de la combinaison d'action dans Load Combination Name,

"ADD" Type de la combinaison d'actions dans Load Combination Load,

"ELU" Intitulé de la combinaison dans Title,

"1.35 et 1.5" facteurs de pondération des cas de chargement "G et P" dans Define

Combinaison. Lorsque vous tapez "OK" le nom de la combinaison introduite apparaît dans la fenêtre Define Load Combinations.

Reprendre les étapes de l'opération précédente pour introduire les autres combinaisons d'actions.

Les deux fenêtres suivantes présentent l'introduction des données relatives aux combinaisons 1.35G+1.5P et $G+P \pm E_y$

Case Name	Scale Factor
LIVE Static Load	1.5
DEAD Static Load	1.35
LIVE Static Load	1.5

1.5. Etape N04 : Conditions aux Limites

Cette étape consiste à spécifier les conditions aux limites (appuis, etc...) pour la structure à modéliser.

1.5.1. Appuis (Restraints)

Le template utilisé a déjà placé des appuis doubles au bas de chaque poteau. Puisque dans le cas présent il s'agit d'encastrement, il faut les modifier.

Sélectionnez les nœuds de la base en dessinant une fenêtre qui les englobent à l'aide de la souris dans le plan X-Y pour $Z=0$. On attribue des appuis (restraints) avec le menu Assign, puis Joint (nœuds) et Restraints. Cliquez sur l'icône qui représente un encastrement.

Ce menu peut être utilisé pour attribuer n'importe quelle combinaison de degrés de libertés à un nœud quelconque. Sauvegarder votre modèle à l'aide du menu File et Save.

1.5.2. Création du Nœud Maître

Dans l'ETABS, le nœud maître peut être créé avec le menu Draw et Add Special Joint. Cette opération vous permet de déplacer la souris vers la position désirée dont les coordonnées sont affichées au fur et à mesure au bas de la fenêtre représentant le plan X-Y du premier étage par exemple, une fois la position recherchée atteinte, appuyez sur le bouton gauche de la souris. Pour modifier les coordonnées de ce nœud ou d'un nœud quelconque. Il suffit de sélectionner le nœud et d'appuyer sur le bouton de droite de la souris. Une fenêtre apparaît sur votre écran et permet de modifier les coordonnées X, Y et Z, ainsi que le numéro du nœud.

Répéter cette opération pour les autres étages.

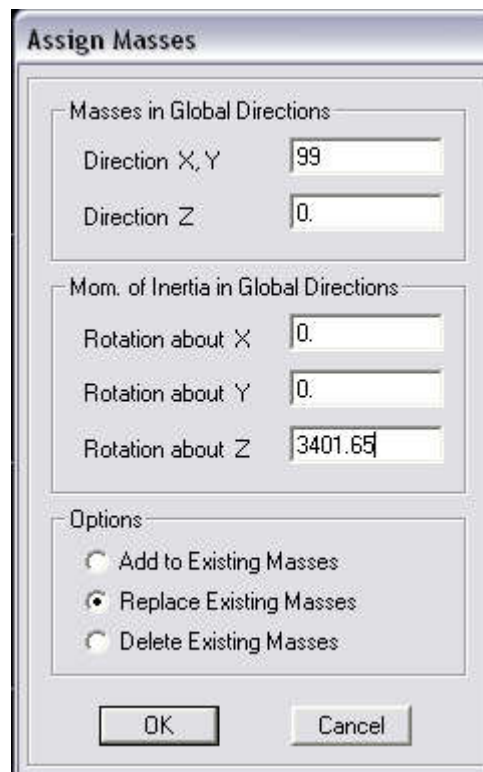
Note : La position du nœud maître représente le centre de gravité des masses plus ou moins $0.05L$ (L étant la dimension du plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique) comme stipule l'Article 4.3.7 du RPA99.

Comme il s'agit d'un plancher rigide on doit attribuer aux nœud maître de chaque plancher :

- 1- Trois degrés de libertés : deux translations (suivant X et Y) et une rotation autour de Z. Pour cela, sélectionnez les nœuds maîtres créés en cliquant sur eux à l'aide de la souris. On attribue les *restraints* avec le menu **Assign**, puis **Joint** (nœuds) et **Restraints**. Sur la fenêtre **Joint Restraint** qui apparaît sur écran, sélectionnez la combinaison de degré de liberté suivante :



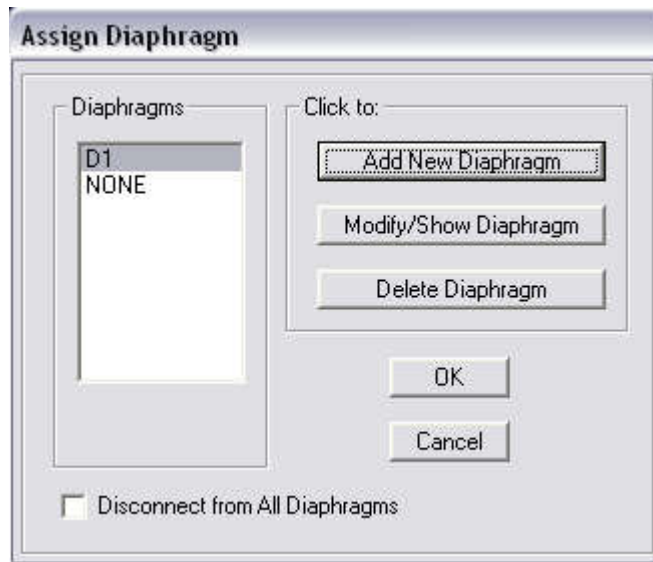
- 2- La masse du plancher pour les degrés de translation et l'inertie massique du plancher pour le degré de rotation. Pour cela, sélectionnez les nœuds maîtres ayant les valeurs des masses et d'inertie massique en cliquant sur eux à l'aide de la souris. On attribue les *masses* avec le menu **Assign**, puis **Joint** (nœuds) et **Masses**. Sur la fenêtre **Joint Masses** qui apparaît sur votre écran, affectez les valeurs de la masse du plancher suivant les deux directions X et Y et la valeur d'inertie massique autour de l'axe Z.



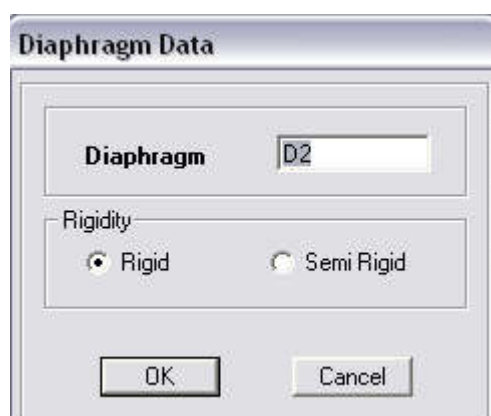
1.5.3. Constraints

les constraints permettent de relier des degrés de libertés (DDL) d'un ou plusieurs nœuds aux degrés de liberté d'un seul nœud. Ceci a pour effet de réduire le nombre d'équations à résoudre.

Cliquez sur l'icône Clear dans la barre d'outils flottante pour éliminer toute sélection. Sélectionnez les nœuds du premier étage en dessinant une fenêtre qui englobe ces nœuds à l'aide de la souris. Dans ETABS, on attribue des constraints avec le menu Assign, puis Joints et Constraints, sur la fenêtre constraints qui apparaît sur votre écran, sélectionnez Add Diaphragm.



Il faut attribuer un nom pour le Add Diaphragm assigné au premier étage et spécifier que le degré de liberté sera commun à tous les nœuds de cet étage. Choisissez DIAPH1 comme nom et sélectionnez le DDL selon l'axe des Z, sur la fenêtre diaphragm constraint .



Cliquez sur "OK" et répétez l'opération pour tous les étages en sélectionnant un nom différent (DIAPH2, DIAPH3, DIAPH4 et DIAPH5) et toujours l'axe des Z.

Avant de lancer l'exécution de l'exemple de calcul, il faut spécifier que l'analyse sera effectuée en trois dimensions. Sélectionnez Space Frame dans le menu Analyze, puis Set Analysis Options.

Sur la même fenêtre et avant de cliquer "OK", sélectionnez Dynamic Analysis puis Set Dynamic Parameters pour fixer le nombre de mode de vibration à retenir dans Number of modes. Sélectionnez ensuite l'option Generate Output pour créer un fichier de résultats qui pourra être imprimé. Appuyez sur Select Output Options pour spécifier les résultats à sauvegarder sur fichiers :

1.6. Etape N°5 : Démarrage de l'Exécution

L'exécution du problème peut être démarrée en sélectionnant Analyze et Run Analysis. Elle peut également être démarrée en appuyant sur F5 ou bien sur l'icône . S'il y a des erreurs, vous pouvez retourner dans le module graphique et apporter les corrections nécessaires.

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