

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

UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

## **Polycopié pédagogique**

# **Calcul assisté par ordinateur**

*Présenté par* : MOUSSA ABUALNOUR

Ce cours est destiné aux étudiants de Licence 3<sup>ème</sup> Année/Génie Civil

Algérie  
2019

## **Avant Propos**

Le présent cours est destiné aux étudiants universitaires de troisième année Génie Civil et de deuxième année Master spécialité Structures, ainsi qu'à tous les ingénieurs de conception de structures, des débutants jusqu'aux professionnels.

En maîtrisant ce Logiciel et en connaissant la méthode de simulation des constructions, les étudiants acquièrent une grande confiance pour la compréhension du domaine du Génie Civil, ce qui leur permet d'aborder avec une grande confiance la vie professionnelle.

## Table des matières

Avant-Propos

Résumé

Liste des Notations

Introduction Générale

Chapitre 01	Généralités sur Le logiciel ROBOT Structural Analysés	01
II.3. 1.	Introduction	01
1.2.	Caractéristiques du programme Robot	04
1.3.	Etapes générales d'étude d'une construction sur le logiciel Robot	07
1.3.1.	Description de la construction	07
1.3.2.	Analyse de la construction	07
1.3.3.	Affichage des résultats	07
1.3.4.	La conception	07
Chapitre 02	Principes d'utilisation du programme Robot	09
2.1.	Démarrage de robot	09
2.2.	L'environnement de travail	10
2.2.1.	Interface du logiciel	10
2.2.2.	Comment afficher les barres d'outils	14
2.2.3.	Comment régler les unités du logiciel	15
2.2.4.	Modification des unités virtuelles du logiciel	18
2.2.5.	Comment régler les caractéristiques des matériaux	18
2.2.6.	Changement des normes de conception et des normes de charge	20
2.3.	Modification des caractéristiques et des paramètres du logiciel	21
2.3.1.	Changement de toutes les bases de données en une seule fois	21

2.3.2. Changement de la langue du logiciel	22
2.3.3. Réglage des paramètres généraux du logiciel	23
2.3.4. Réglage des couleurs et des lignes du logiciel	23
2.3.5. Réglage de la forme des menus et des barres d'outils	25
2.4. Commande des espacements de la grille	26
2.5. Réglage des paramètres du mode d'accrochage	28
Chapitre 03	Exercice pratique
3.1. Etapes de modélisation, d'analyse et d'affichage des résultats	31
3.2. Exemple	31
3.3. Première étape	32
3.3.1. Choix du modèle adéquat.	32
3.3.2. Définition des axes	34
3.3.3. Définition des sections pour les éléments barres	38
3.3.3.1. Ajout d'une nouvelle section	39
3.3.4. Attribution des matières des sections ajoutées.	41
3.3.5. Définition des cas charges et combinaisons d'actions	42
3.3.5.1. Définition des charges	42
3.3.5.2. Définition des combinaisons d'actions	44
3.4. Deuxième étape	47
3.4.1. Dessin des éléments barres.	47
3.4.2. Définition des appuis.	49
3.4.3. Attribution des charges	51
3.5. Troisième étape	55
3.5.1. Solution et analyse de la structure.	55
3.5.2. Exposition des résultats de l'analyse.	56
3.5.2.1. Exposition des résultats graphiquement	57
3.5.2.2. Affichage de la courbe des moments fléchissant	58
3.5.2.3. Affichage de la courbe de l'effort tranchant	59
3.5.2.4. Affichage des réactions	59
3.5.2.5. Affichage des résultats textuellement dans un tableau	60
Références Bibliographiques	62

## Résumé

Ce travail présente une explication détaillée du Logiciel Robot qui est considéré comme le logiciel le plus récent dans le domaine de l'analyse de construction.

Notre choix s'est porté sur ce logiciel pour sa force dans le domaine de l'analyse et de la conception de structure. En effet, le logiciel domine les autres logiciels d'analyse dans plusieurs points.

Ce logiciel offre aux ingénieurs la possibilité de simulation et d'analyse de construction grandes et complexes.

Le logiciel Robot peut simuler l'effet des charges externes de la structure telles que les vents, les séismes, et la chaleur.

L'utilisation simple et fluide du logiciel permet à l'ingénieur d'effectuer des analyses détaillées et des simulations de structure en un temps rapide et concis.

## Liste Des Notations

CBS	Système de construction
$U_x, U_y, U_z$	Déplacement suivant l'axe x,y et z
$R_x, R_y, R_z$	Les réactions suivant l'axe x,y et z.
$F_x, F_y, F_z$	Les forces suivant l'axe x,y et z.
$M_x, M_y, M_z$	Moments de flexion
(*bak)	Fichier d'extension
Windows OS	Windows Operating System
Mac Os	Système d'exploitation à interface graphique
DWG	(DraWinG) format natif des fichiers de dessins AutoCAD
DXF	format de fichier utilisé pour le transfert de données du type vecteur
fc28	Résistance à la compression du béton après 28 jours
Fe 360	Type d'acier
G	Action des charges Permanentes
Q	Action des charges d'exploitation
ELU	État-limite ultime
ELS	État-limite de service
BA	Béton armé
RPA	Règles Parasismiques Algériennes

## Introduction Générale

Avec l'avancée technologique, il nous est désormais possible de transformer une construction réelle en un modèle numérique que le logiciel peut traiter et analyser sa réaction à l'effet des forces et charges extérieures, puis obtenir les différentes forces intérieures.

Ce travail sera donc présenté selon l'organisation qui suit :

- Dans le premier chapitre, nous allons présenter le logiciel et la méthode de calcul qu'il utilise. Nous connaissons aussi les avantages du logiciel Robot.
- Au deuxième chapitre, nous donnerons une explication détaillée des différents éléments de l'interface du logiciel Robot, de l'environnement de travail du logiciel. Nous présenterons aussi les différents outils et la méthode de commande.
- Dans le troisième chapitre, on présentera une étude réelle d'une poutre, en allant de la méthode de dessin, et en passant à la façon de la charger, jusqu'à l'analyse de l'exemple et en arrivant aux résultats.

# Chapitre 1 Généralités sur Le logiciel (ROBOT Structural Analysis)

## 1.1. Introduction

Avec le développement de logiciels, il nous est possible aujourd'hui de représenter les différentes constructions sous forme de modèles structurels (modélisation structurelle), et ce en transformant une construction réelle en un modèle numérique que le logiciel peut traiter et analyser, puis obtenir les forces internes à savoir le moment de flexion, le cisaillement, l'effort de tranchant, et l'effort normal qui résistent aux charges extérieures influant sur la construction.

Le logiciel se base sur une des méthodes de calcul, parmi lesquelles on trouve la méthode des éléments finis utilisée dans la majorité des logiciels de création connus mondialement (ROBOT, SAP, ETABS, SAFE, STAAD...etc.), et dont le fondement mathématique remonte à l'an 1943 par Courant.R. Cette méthode consiste en la transformation d'une construction réelle un ensemble d'éléments précis liés entre elles par un nœud de liaison. L'objectif mathématique de cette opération est la transformation des équations différentielles représentant la construction étudiée en des équations algébriques linéaires ayant un lien avec le nombre des degrés de liberté du modèle étudié.

Il existe plusieurs types d'éléments précis, mais nous nous baserons dans notre représentation des différentes constructions sur deux types de ces éléments précis, à savoir élément de barre et élément de coque, à travers lesquels la construction sera représentée, puis les charges extérieures réparties. Ensuite, nous calculerons les forces intérieures résultant dans ces éléments de l'influence de ces charges. L'élément barre est un élément obtenu par la liaison entre deux points connus.

Il est utilisé pour représenter les éléments de construction, qu'elles soient métalliques ou en béton, à travers leur axe central qui sera substitué ensuite par l'élément barre, après avoir défini ses caractéristiques. Cet élément est utilisé souvent dans la représentation des poteaux et des poutres. Pour ce qui est de l'élément coque, il est utilisé dans la représentation des éléments surfaciques tels que les planchers, dômes, silos et réservoirs...etc.

Le logiciel Robot se base, dans l'étude des différentes constructions, sur deux systèmes, le premier étant (Module d'analyse structurelle), par lequel on peut effectuer l'analyse de construction de n'importe quel type de constructions, quel que soit la fatigue de la construction pour obtenir les forces intérieures résultant de l'influence des charges extérieures (exploitation, permanent, vents, séisme, température...etc.) sur la construction. En revanche, le second système (Module de conception en béton),

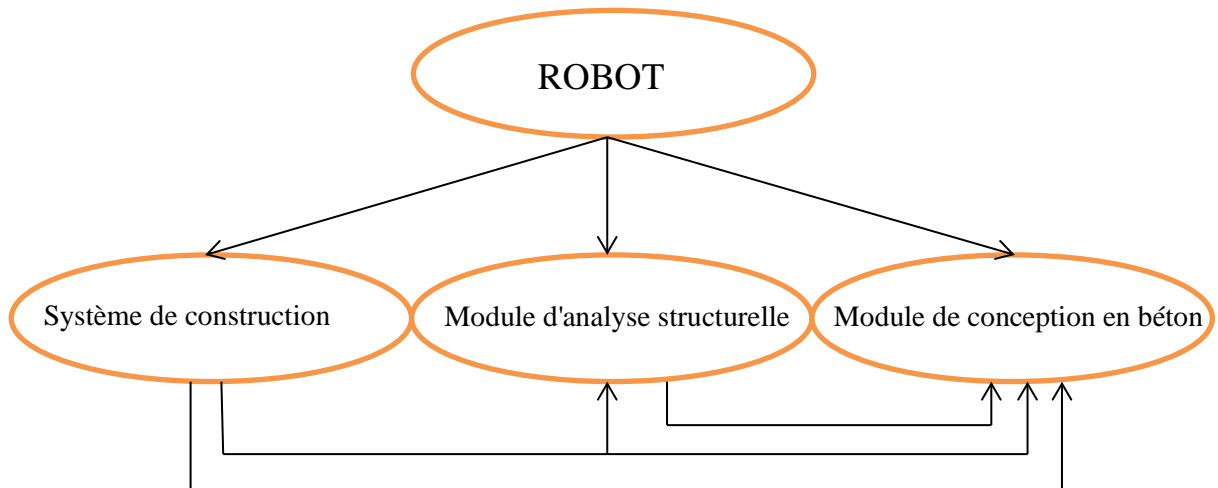


il est destiné à la conception de tous les éléments de construction, et le début du ferrailage pour sortir les plans à travers le logiciel Word ou AutoCAD. Le logiciel contient des outils de conception forts basés sur des règles prises des codes internationaux célèbres pour la conception des différents types de construction. Il contient aussi des outils de création automatique pour les charges de vents, de séismes et des charges mobiles suivant les codes internationaux.

Le logiciel Robot contient, outre le deux précédents systèmes, un troisième système à savoir le logiciel CBS, qui est un logiciel annexé au logiciel Robot, et destiné à l'étude des structures seulement. CBS veut dire Système de construction. Parmi les caractéristiques de ce logiciel, on cite qu'il effectue la correction des coupes des éléments entrés par le concepteur selon les limites posées par le concepteur du logiciel. A titre d'exemple, il donne une section unique des poteaux du bâtiment étudié pouvant être une seule section pour tous les étages, puis donner une instruction au logiciel pour modifier ces dimensions selon un taux de ferrailage qu'on définit pour le logiciel. Ce dernier, après l'analyse, procèdera à la modification des dimensions des poteaux sous l'influence des charges extérieures, soit en rétrécissant la section du poteau ou en l'agrandissant suivant le taux de ferrailage choisie. Tel est aussi le cas pour les poutres, les planches et les fondations.

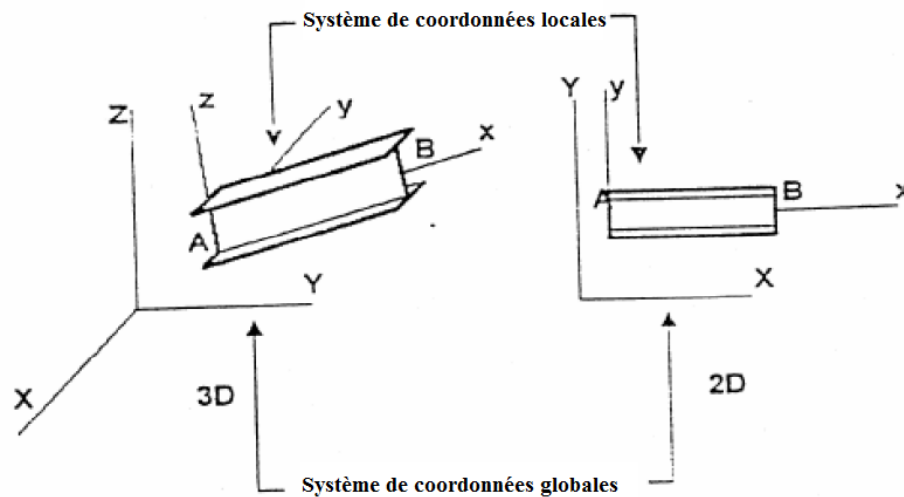
La deuxième caractéristique du logiciel est la transformation des charges extérieures en des charges linéaires réparties sur les poutres, puis les transformer en des charges concentrées sur les poteaux et les murs, et ensuite les transformer enfin en des charges concentrées sur les fondations dont les dimensions sont calculées même si nous n'entrons pas les dimensions des fondations.

La troisième caractéristique du logiciel consiste en le calcul, après analyse, du volume de béton pour tout type d'éléments étudiés, à savoir poteaux, poteaux et planchers... etc, ainsi que la quantité de ferrailage de tout type d'éléments de structure. Il calcule aussi les quantités après avoir défini le cout du mètre cube de béton. Ensuite, il calcule le cout total du bâtiment étudié. La figure suivante présente la relation entre ces trois systèmes.



**Figure 1.1** *Système de fonctionnement du logiciel Robot.*

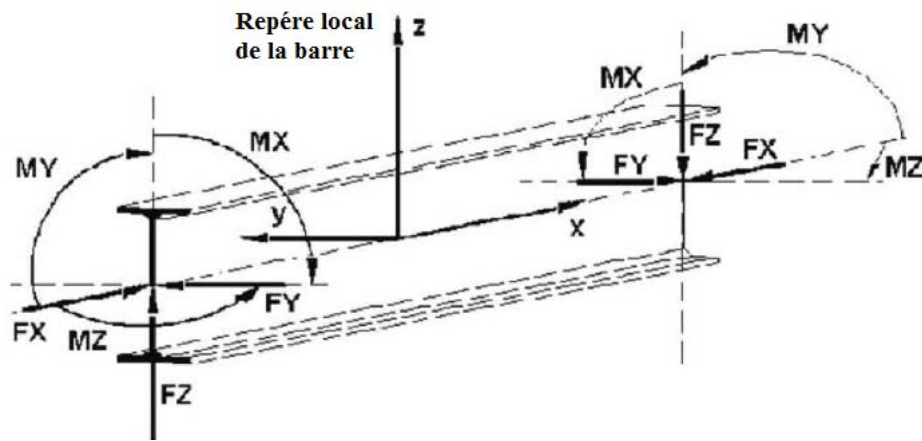
Lors de la réalisation de la structure étudiée, le logiciel Robot traite deux types de systèmes de coordonnées, le premier est appelé le système des coordonnées globales, et le second appelé le système de coordonnées locales de l'élément. Les deux systèmes se composent alors d'un point central et de trois axes perpendiculaires  $X ; Y ; Z$ , tel qu'il est présenté dans la figure.



**Figure 1.2** *Systèmes de coordonnées locales et globales.*

La différence entre les deux systèmes est que le système de coordonnées globales est un système fixe dont la position est fixée par le concepteur. Ce système est utilisé pour définir les coordonnées des nœuds et la direction de la force appliquée sur les éléments de la structure, et pour définir les déplacements et réactions auxquelles est soumise la structure en conséquence de l'analyse. Les déplacements sont désignés selon les trois axes par les symboles  $U_x, U_y, U_z$ . Les réactions sont désignés par :  $R_x ; R_y ; R_z$ . Tandis que le second système de coordonnées locales est un système lié à chacun des éléments de la structure, dans lequel l'axe  $X$  est parallèle à l'axe de l'élément, et en appliquant la règle de

la main droite, l'axe Z y est perpendiculaire, et l'axe Y est perpendiculaire à ce dernier, et orienté vers l'intérieur. A travers ce système de coordonnées, on peut insérer la force à laquelle est soumis l'élément, et la force résultant de l'analyse et qui apparaîtra aux limites des éléments est relative au système de coordonnées locales de chaque élément. Les forces et les moments seront représentées relativement à ces axes, la force  $F_x$  serait alors la force de traction ou de compression, et les deux forces  $F_z$  et  $F_y$  seraient l'effet de tranchant dans les deux directions Y et Z respectivement. Alors que le moment  $M_x$  représentera le moment de flexion, et le moment de cisaillement dans les deux directions X et Z représentera dans les deux moments  $M_y$  et  $M_z$ .



**Figure 1.3** La convention de signes pour les éléments barres.

Le logiciel Robot nous permet de représenter beaucoup de constructions ou d'éléments de constructions divers, dont le type est défini à travers la liste principale du logiciel, laquelle apparaît immédiatement après le démarrage du logiciel. Et pour faciliter au concepteur, la société ayant conçu le logiciel a mis en place beaucoup d'options différentes pour permettre au concepteur de choisir le type de construction qu'il veut étudier, qu'il soit composé d'éléments linéaires ou en plaques. La société conceptrice a réparti chaque type d'options en formes multiples. Pour les constructions composées d'éléments linéaires à titre d'exemple, elles ont été réparties en deux types (2D et 3D). Lors de l'étude d'une construction bidimensionnelle (2D), le résultat de l'analyse fait apparaître les forces  $M_y$  ;  $F_z$  ;  $F_x$ , tandis que toutes les forces  $F_x$  ;  $F_y$  ;  $F_z$  ;  $M_x$  ;  $M_y$  ;  $M_z$ , apparaissent en conséquence de l'analyse d'une construction tridimensionnelle (3D).

## **1.2. Caractéristiques du programme Robot :**

Le programme Robot a plusieurs caractéristiques qui facilitent à l'utilisateur le travail dans l'environnement du programme. Parmi ces caractéristiques nous citons [01] :

- 1- Le programme stocke toutes les entrées dans des bases de données, ce qui donne à ces entrées une durabilité relative, car il leur est fait appel dans tout programme antérieur, à condition de ne pas fermer le programmes ou d'y sortir définitivement.
- 2- Le programme est complémentaire avec tous les programmes Autodesk ce qui lui offre une grande caractéristique.
- 3- On peut, à travers le programme, transférer les charges des planchers par la méthode des éléments finis ou la méthode simple dans laquelle les planchers sont fragmentés en triangles ou en trapézoïdale.
- 4- Le calcul des quantités pour le projet.
- 5- Le calcul des couts pour le projet.
- 6- Dessiner les plans de ferrailage et estimer les quantités d'acier.
- 7- Faire une simulation pour expérimenter l'effet de vent.
- 8- Définir les cas de charge de vent avec professionnalisme et haute précision.
- 9- Possibilité d'effectuer une analyse à travers le site de la société.
- 10- Facilité d'effectuer des entrées, dessins et modifications.
- 11- Facilité de traiter les plans d'AutoCAD importés dans le projet.
- 12- Facilité de dessiner les éléments plats tels que les plaques, ainsi que la facilité d'y dessiner les ouvertures avec plusieurs méthodes.
- 13- Le programme contient les qualités du Règlement Parasismique Algérien (R.P.A 2003).
- 14- Possibilité de changer les cas de charge dans les cas d'assemblage.
- 15- Possibilité d'utiliser plusieurs codes en même temps. Par exemple, on peut utiliser un code pour les charges et un autre pour la conception des secteurs de béton.
- 16- La fenêtre de contrôleur d'éléments (Gestionnaire d'objets) à travers laquelle on peut contrôler les différentes parties du projet et changer les caractéristiques de n'importe quel élément.
- 17- La facilité de définir les différents types de charges y compris les charges d'eau.
- 18- Le contrôle total de la forme, de l'apparence, des couleurs et des lignes du programme.
- 19- Possibilité de fragmenter les éléments plats tels que les planchers en plusieurs méthodes.
- 20- Possibilité de modification et de changement dans la grille de maillage des éléments plats tels que le maillage automatique.
- 21- Possibilité d'augmenter les maillages de la grille dans les endroits concentration des contraintes.
- 22- La découverte des erreurs avant et après la solution, et l'accès rapide aux erreurs ce qui permet de les modifier très facilement.
- 23- Dessiner le diagramme de l'effet de tranchant dans la bonne direction.
- 24- Possibilité d'afficher plus d'une solution en même temps.
- 25- Montrer et dessiner des diagrammes précis pour les résultats de chaque élément lors de l'affichage de ces caractéristiques.

- 26- Possibilité de faire une note de calcul à laquelle on peut annexer toutes données et photos du programme.
- 27- Possibilité de modifier le modèle après analyse et actualiser l'analyse facilement, ainsi que l'apparition d'un message vous informant que l'analyse doit être actualisée lors de toute modification.
- 28- Le contrôle facile de l'affichage, et la rapidité de transition entre les différentes perspectives 2D et 3D.
- 29- Facilité de conception et variation des options, car on peut définir la durée de résistance à l'incendie de la structure. On peut aussi définir les conditions environnementales de la structure.
- 30- Facilité et rapidité de faire des plans sur le programme Robot lui-même, et aussi la possibilité d'exporter les éléments vers le programme AutoCAD et y effectuer des plans plus détaillés.
- 31- Possibilité de définir le sol avec ses caractéristiques et ses couches et par suite le programme peut définir la réaction du sol sous la structure.
- 32- Possibilité d'afficher toutes les charges réparties et concentrées, ainsi que le moment dans toutes les directions en même temps.
- 33- Une bonne méthode de sauvegarde du projet, car tout l'état du projet, même les différentes fenêtres ouvertes, est enregistré lors de la sauvegarde.
- 34- Même avec une version ancienne du programme on peut ouvrir le fichier d'un projet sauvegardé dans une version récente, et afficher les résultats et les modifier.
- 35- Le moment est montré soit dans les entrées ou les sorties dans la forme habituelle dans la solution manuelle, c'est-à-dire qu'elles sont affichées en tant que partie d'un diagramme, ce qui facilite la définition de la direction de leur effet.
- 36- La capacité de définir planchers de différentes épaisseurs dans une seule ou deux directions.
- 37- Possibilité de faire plusieurs dimensions dans le modèle.
- 38- Possibilité de définir plusieurs types variés de planchers avec facilité et professionnalisme.
- 39- La facilité de définition des charges, quel que soit sa difficulté. Par exemple, on peut définir un concentré incliné en une seule étape seulement, contrairement aux autres programmes qui le font en plusieurs étapes.
- 40- La diversité des méthodes d'affichages de résultats et leur contrôle de façon facile et très précise.
- 41- Le fichier du projet, que ce soit avant ou après analyse, reste un seul fichier, avec un fichier de réserve (\*.bak), comme tout fichier AutoCAD.
- 42- Le programme, comme tous les programmes Autodesk, marche sur plusieurs systèmes d'exploitation, à savoir Windows OS, Mac Os, Linux, et Android, contrairement aux autres logiciels de création dont les utilisateurs souffrent de leur installation sur le système Windows.
- 43- On peut sauvegarder le projet avec ou sans résultats, ce qui est offert dans les options de sauvegarde, comme on peut sauvegarder le projet en extensions DWG et DXF.

- 44- Remédier au problème de la concentration de contrainte en haut des appuis lors de la définition des planchers en utilisant un modèle 2D.
- 45- Possibilité de protéger le fichier par un mot de passe.
- 46- Possibilité d'importer un fichier du logiciel SAP2000.

Celles-ci ne sont pas toutes les caractéristiques du logiciel mais il s'agit de certaines de ses capacités.

### ***1.3. Etapes générales d'étude d'une construction sur le logiciel Robot :***

L'étude de toute construction passe par trois principales étapes :

#### *1.3.1. Description de la construction :*

C'est l'étape la plus importante et la plus longue, car la précision et l'exactitude de l'étude repose sur cette étape, et sur le rapprochement à la réalité du modèle inséré dans le logiciel. Cette étape peut être résumée dans les points suivants :

- Choix du model correspondant.
- Définition des unités correspondantes.
- Définition des matériaux utilisés dans le modèle de construction.
- Définition des éléments utilisés dans le modèle de construction.
- Définition et insertion des axes.
- Dessin des éléments du modèle de construction ou importation d'un modèle depuis un dossier externe.
- Définition des appuis.
- Définition des types de charges influant sur le modèle de construction.
- Définition des différents cas de charges.
- Attribution des charges aux différents éléments de la construction.
- Vue et présentation.
- Procéder à des modifications aux nous aurons besoin.

#### *1.3.2. Analyse de la construction :*

Cette étape est effectuée par le logiciel sans l'intervention de l'utilisateur, et ce sur la base des données insérées.

#### *1.3.3. Affichage des résultats :*

C'est l'étape finale dans l'analyse. Elle est suivie par la conception de la construction.

#### *1.3.4. La conception :*

Nous effectuerons cette étape si la conception est faite selon l'un des codes universels trouvés dans le logiciel. On remarque que c'est nous qui avons introduit le code algérien.

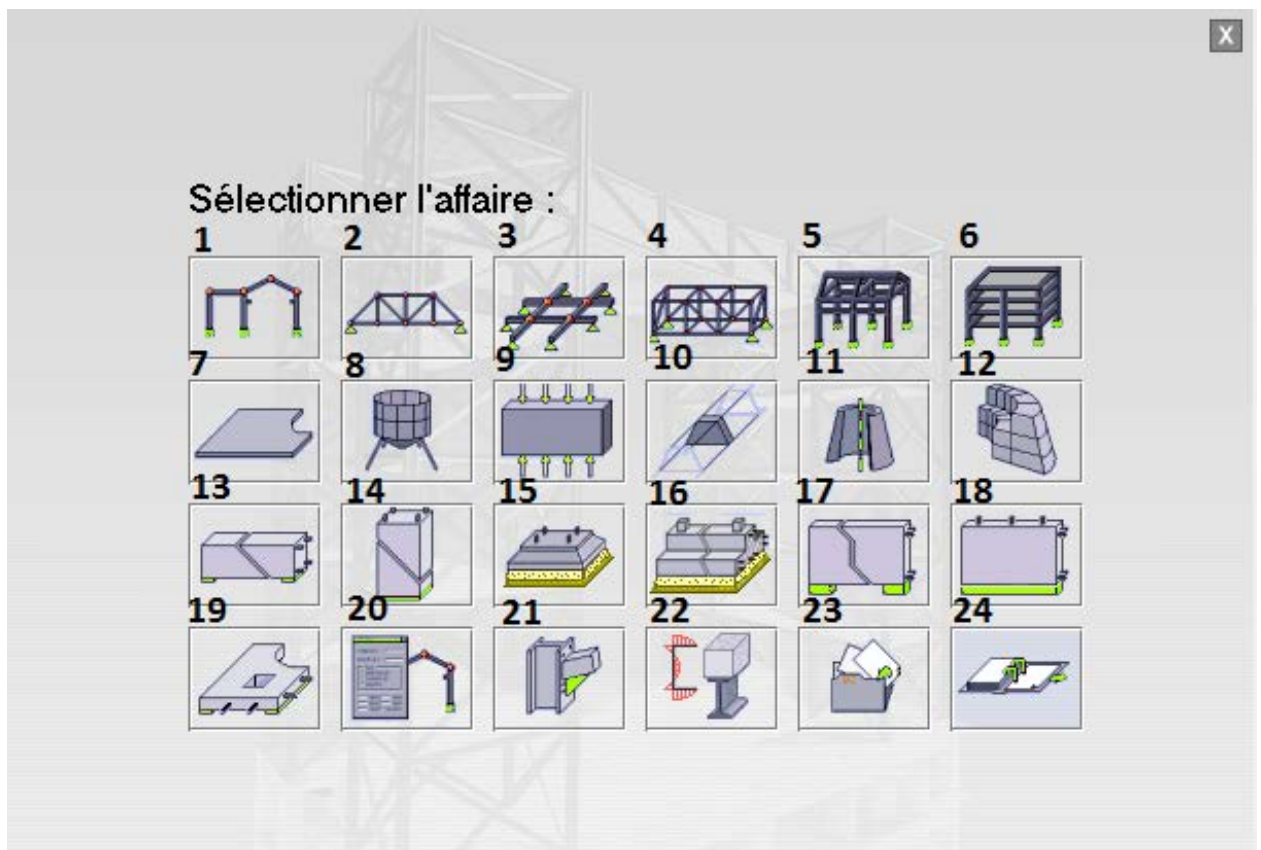
**Remarque :** A travers les cours suivants, nous connaissons la méthode d'utilisation des instructions du logiciel par le biais d'exemples. Mais avant cela, force est de signaler que malgré la facilité que nous rencontrerons à utiliser les instructions du logiciel et sa façon d'exposer les éléments étudiés, l'expérience et le sens de l'ingénierie dont doit faire preuve l'ingénieur concepteur, sont inévitables, car les erreurs commises en insérant des données de façon fautive pourrait induire la construction étudiée à l'effondrement, ou l'augmentation de son coût sans raison. Seuls les ingénieurs à l'expérience acquise lors des études universitaires, conjuguée à l'expérience professionnelle issue du travail dans l'étude des projets divers à travers le traitement des résultats de l'analyse donnée par le logiciel, pourront découvrir et surmonter ces erreurs.

## Chapitre 2 Principes d'utilisation du programme Robot

### 2.1. Démarrage de robot

Le logiciel ROBOT comporte plusieurs modules relatifs à chacune des étapes de l'étude de la structure allant de la création du modèle de structure au calcul de la structure, en passant par le dimensionnement. Ces modules fonctionnent dans le même environnement.

Après le démarrage du système ROBOT, en cliquant sur l'icône du logiciel sur le bureau, ou en sélectionnant la commande appropriée dans la barre des tâches, apparaît alors la fenêtre ci-dessous. Dans cette fenêtre, vous pouvez effectuer plusieurs tâches, à savoir définir le type de la structure à étudier, importer une structure existante ou charger le module permettant d'effectuer le dimensionnement de la structure [02].



Les premières icônes présentent les types de structures à sélectionner :



- 1- Etude d'un Portique Plan
- 2- Etude d'un Treillis Plan
- 3- Etude d'un Grillage
- 4- Etude d'un Treillis Spatial
- 5- Etude d'un Portique Spatial
- 6- Conception d'un bâtiment
- 7- Etude d'une Plaque
- 8- Etude d'une Coque
- 9- Etude en Contraintes Planes
- 10- Etude en Déformations Planes
- 11- Etude d'un Structure Axisymétrique
- 12- Modélisation en Volumiques
- 13- Béton armé : Ferrailage d'une Poutre
- 14- Béton armé : Ferrailage d'une Poteau
- 15- Béton armé : Ferrailage d'une Semelle
- 16- Etude d'une Poutre/sol élastique BA
- 17- Béton armé : Ferrailage d'une Poutre-Voile
- 18- Etude d'un Voile BA
- 19- Etude d'une Dalle BA
- 20- Etude d'une Structure Paramétrée
- 21- Etude des Assemblages
- 22- Etude d'une Section
- 23- Ouvrir une affaire existante
- 24- Nouvelle affaire

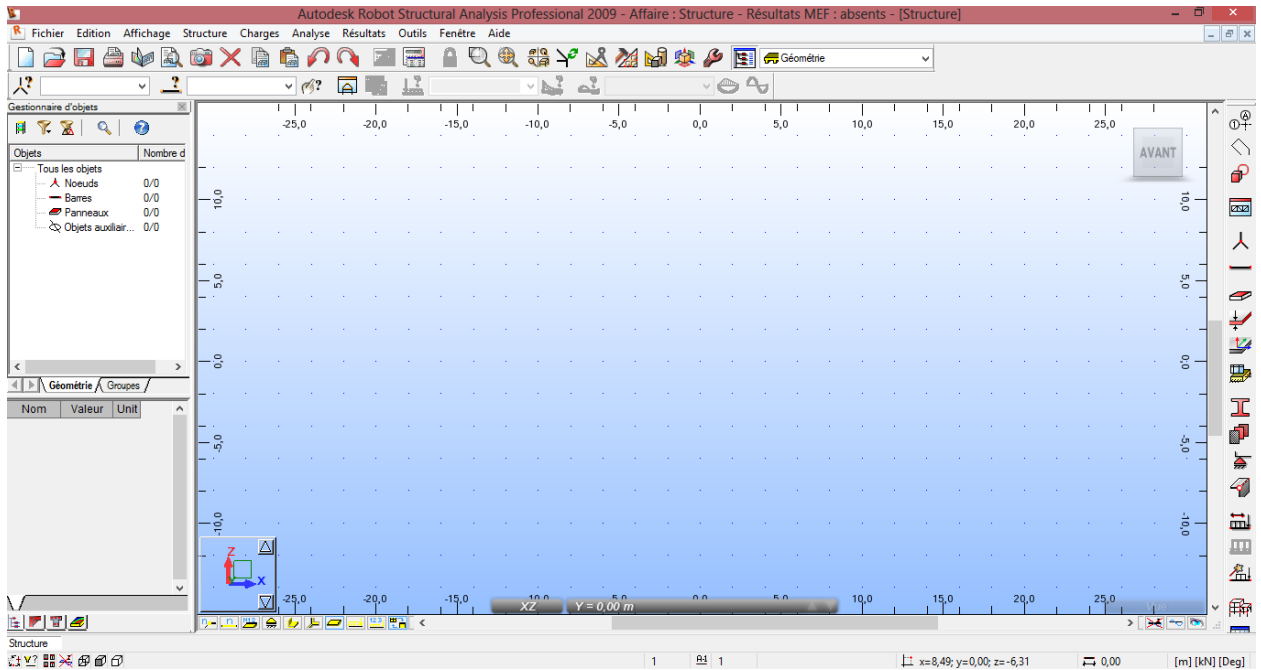
Une fois le type de structure sélectionné, le logiciel Robot adapte les paramètres au type de la structure. Suivant l'objectif et le type de la structure, le logiciel affiche une des options suivantes : soit la fenêtre de l'éditeur graphique pour effectuer la saisie, soit le bureau spécifique adapté aux fonctions du module.

## ***2.2. L'environnement de travail :***

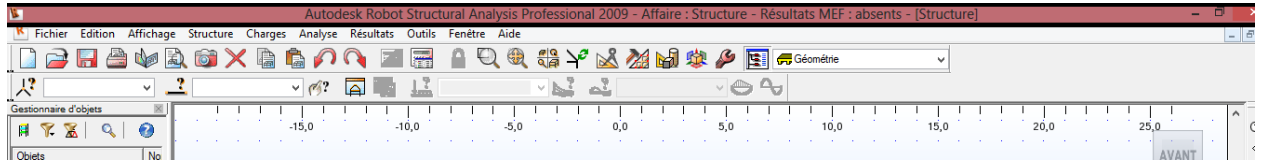
Après avoir effectué le choix du type de structure, vous obtiendrez l'écran ci-dessous contenant un nombre de zones servant à connaître le déroulement de votre modélisation et de l'exploitation des résultats

### ***2.2.1. Interface du logiciel :***

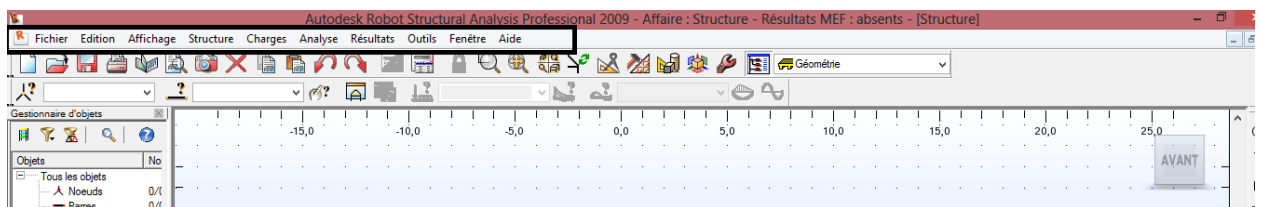
L'image suivante présente l'interface du logiciel Robot [03].



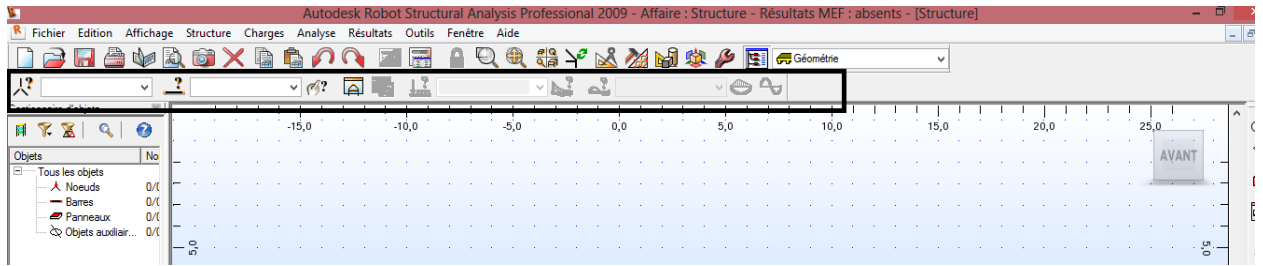
La barre de titre sur laquelle les informations de base concernant l'affaire actuelle sont affichées (nom du projet, informations sur l'état des calculs de la structure : résultats actuels, non actuels, calculs en cours) [03].



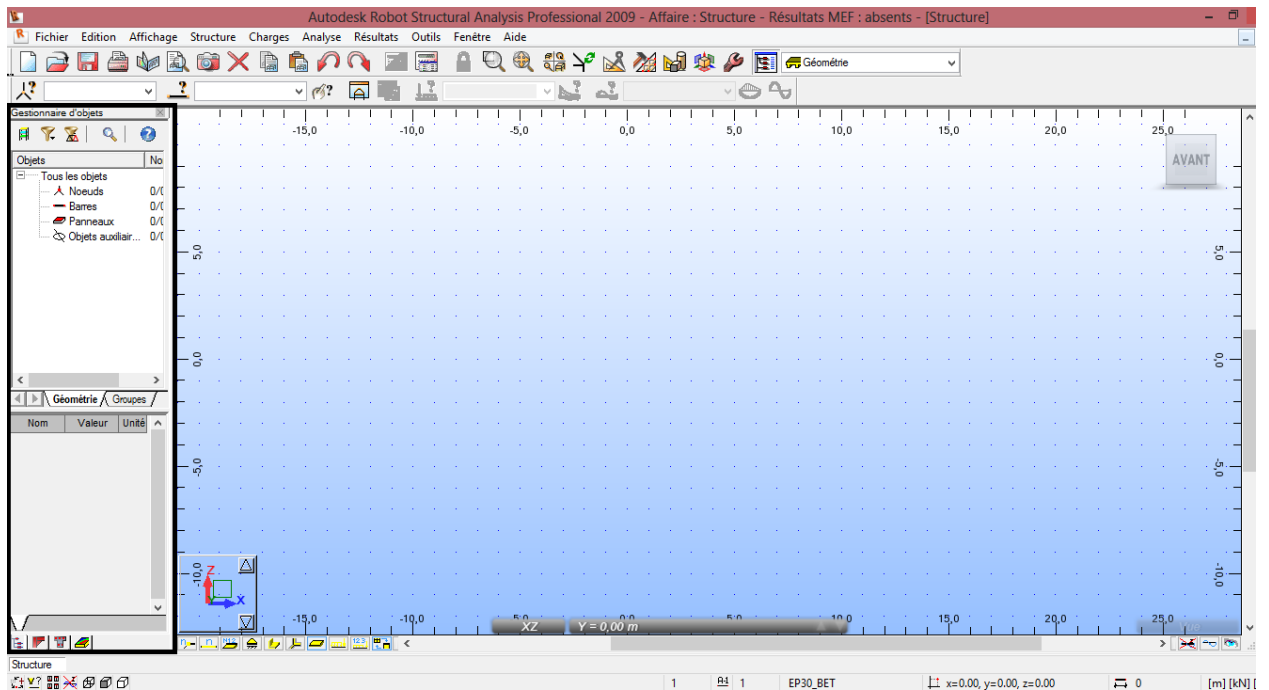
Les menus déroulants, les barres d'outils (y compris la barre d'outils affichée à droite de l'écran, qui regroupe les icônes le plus souvent utilisés) et la liste de sélection des bureaux prédéfinis du logiciel Robot [03].



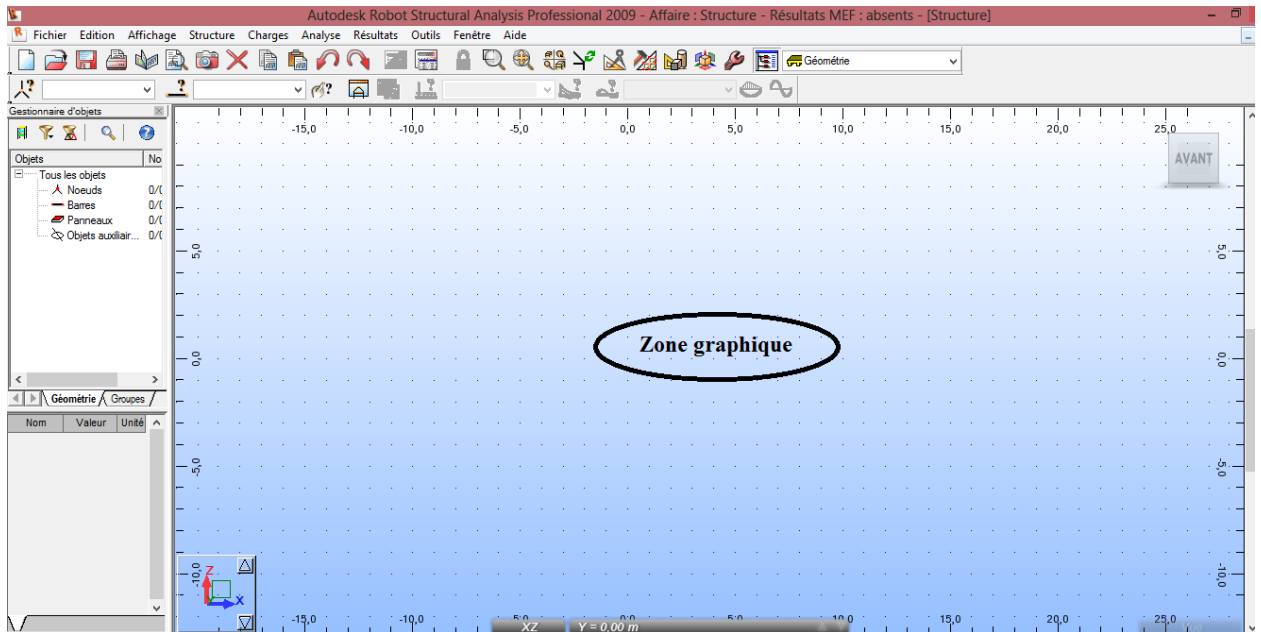
La liste de sélection de nœuds, barres, cas de charges et modes propres.



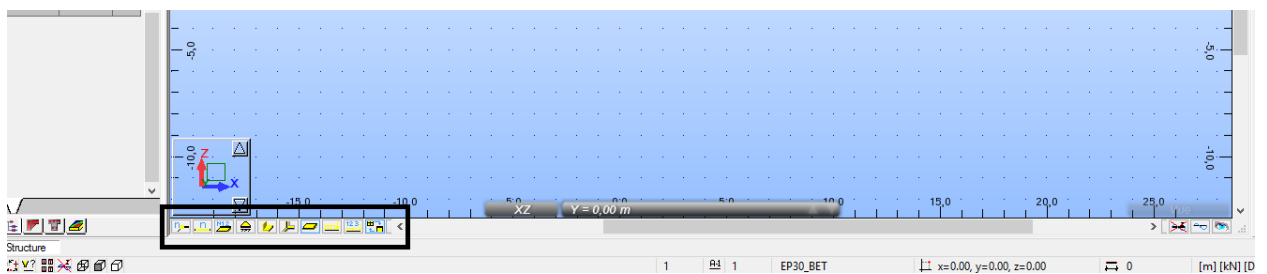
La boîte de dialogue Gestionnaire d'objets disponible à gauche de l'écran (cette boîte de dialogue peut être fermée pour augmenter la zone graphique du logiciel servant à définir la structure).



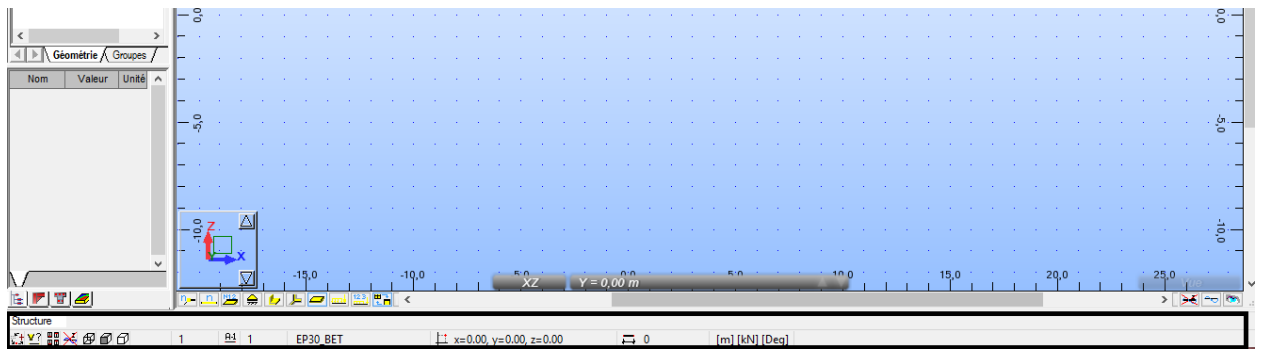
La zone graphique (fenêtre de l'éditeur graphique) qui sert à modéliser et visualiser la structure.



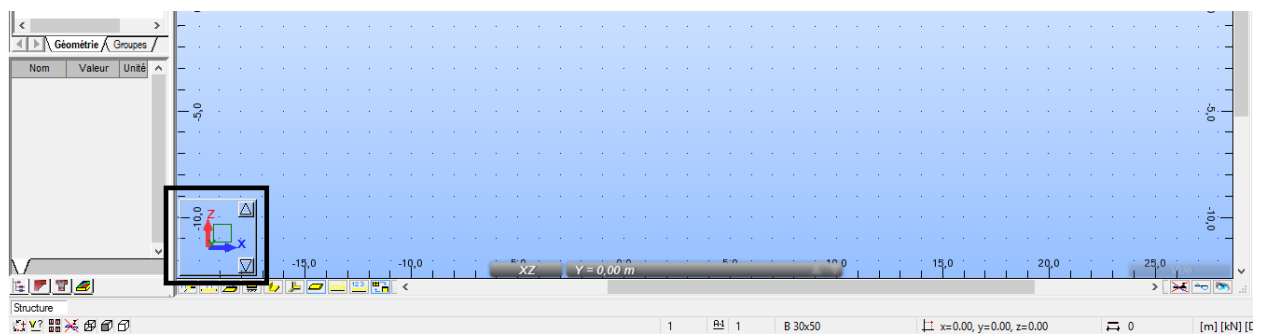
La barre d'outils disponible au-dessous de la zone graphique ; elle contient les icônes permettant d'afficher sur l'écran : les numéros de nœuds/barres, les symboles des appuis, les croquis des profilés, les symboles et les valeurs des charges et des déformations de la structure pour le cas de charge donné[03].



La zone d'état se trouvant dans la partie inférieure de la fenêtre du logiciel Robot affiche les informations suivantes : noms des fenêtres d'édition ouvertes (ou les visionneuses), coordonnées de la position du pointeur, unités utilisées et un groupe d'icônes sur lequel vous pouvez cliquer pour ouvrir les boîtes de dialogue de gestion les plus importantes ou consulter les informations à propos des ressources disponibles (Affichage des attributs, Mode d'accrochage ... ) [03].

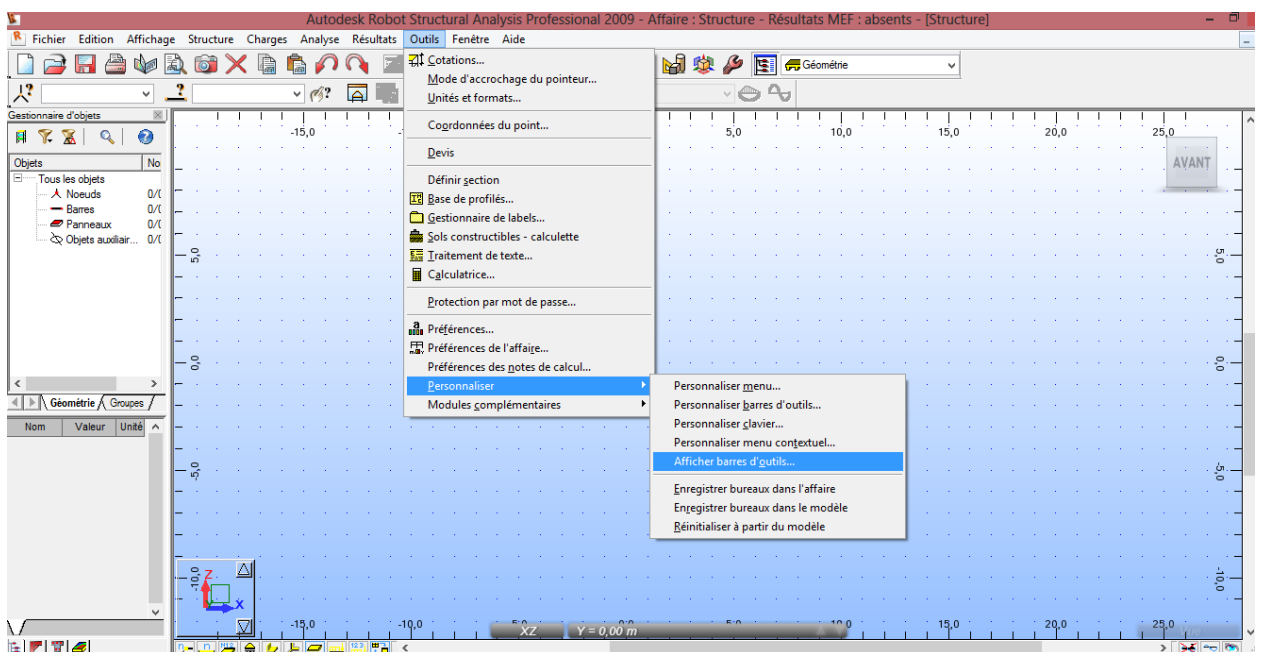


La zone gestionnaire de vue par le biais de cette section, on peut choisir et définir la zone de travail et se déplacer entre la vue 2D et la vue 3D.

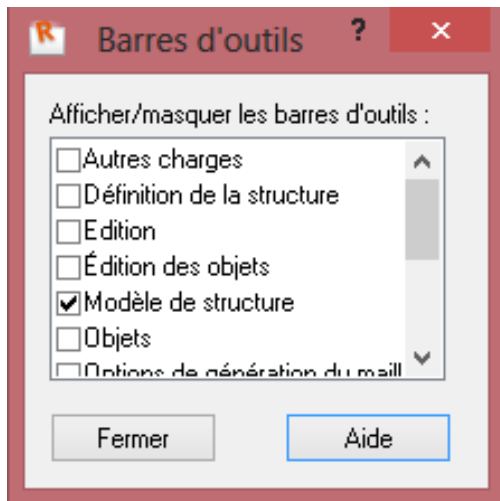


### 2.2.2. Comment afficher les barres d'outils :

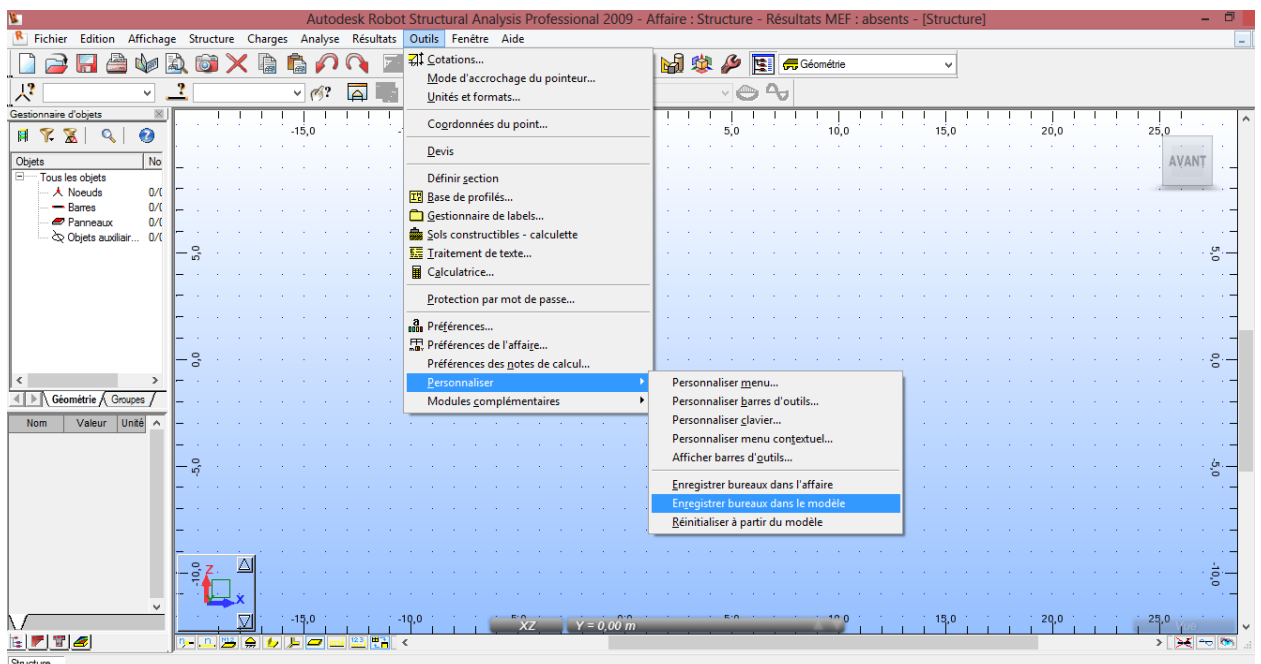
On affiche les barres d'outils en allant dans le menu (Outils), et on choisit le sous-menu (Personnaliser), et on sélectionne (Afficher barres d'outils...), comme suit :



La fenêtre suivante s'affiche :



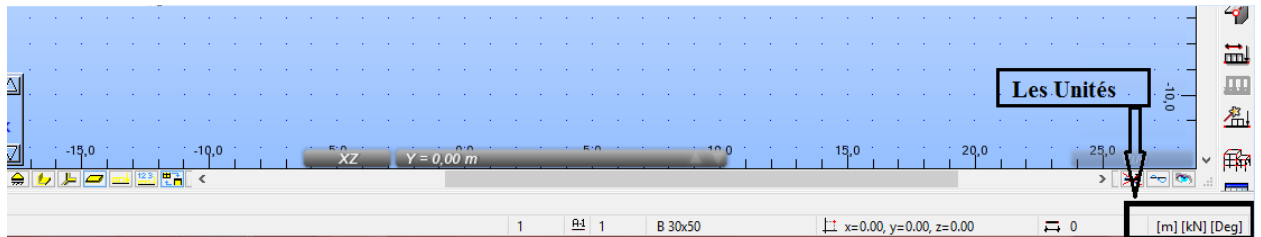
Choisissez les barres d'outils que vous voulez afficher, et cliquez ensuite sur (Fermer). Maintenant, répartissez ces barres sur l'interface du logiciel. Pour sauvegarder l'état de la nouvelle interface lorsque vous ouvrez un nouveau projet, allez dans le menu (Outils) et sélectionnez le sous-menu (Personnaliser), puis sélectionnez (Enregistrer bureaux dans le modèle), comme suit :



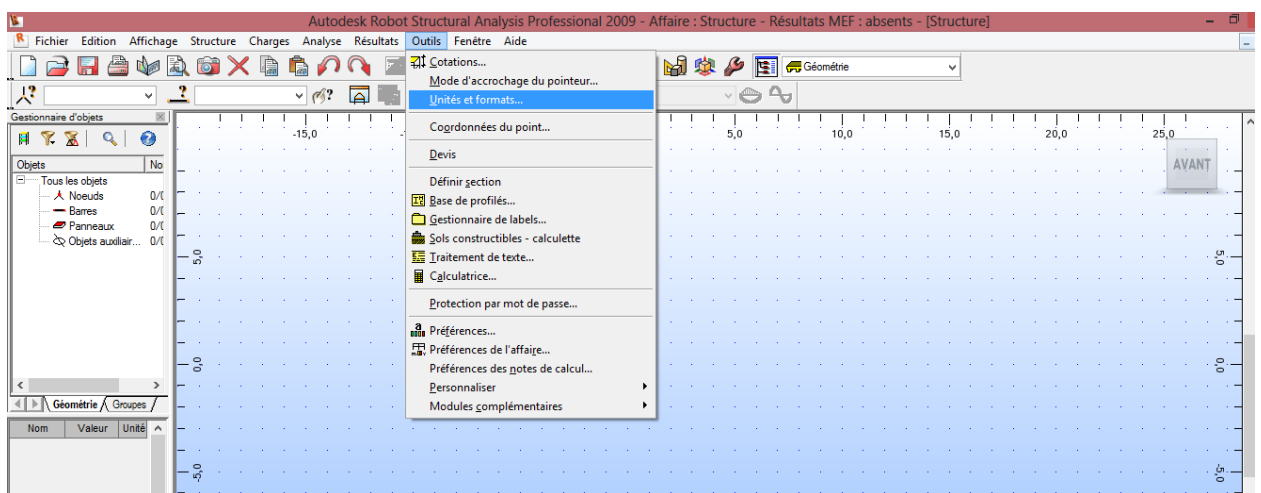
L'interface actuelle devient une interface virtuelle en replaçant les barres d'outils.

2.2.3. Comment régler les unités du logiciel :

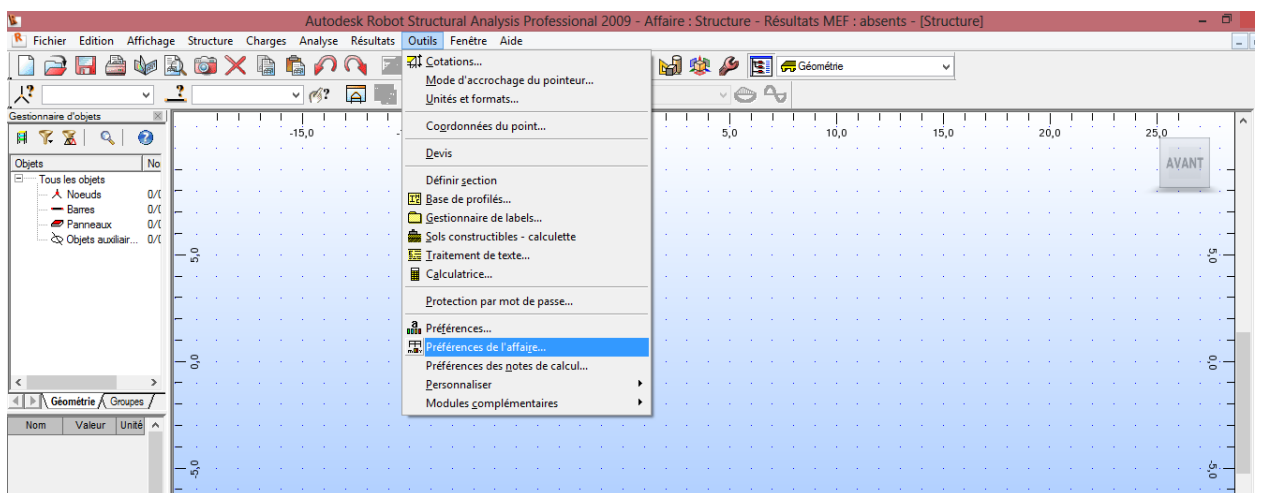
Pour accéder à la fenêtre de modification des unités, faites un clic gauche sur les unités qui apparaissent sur le bas du côté droit de la fenêtre principale.



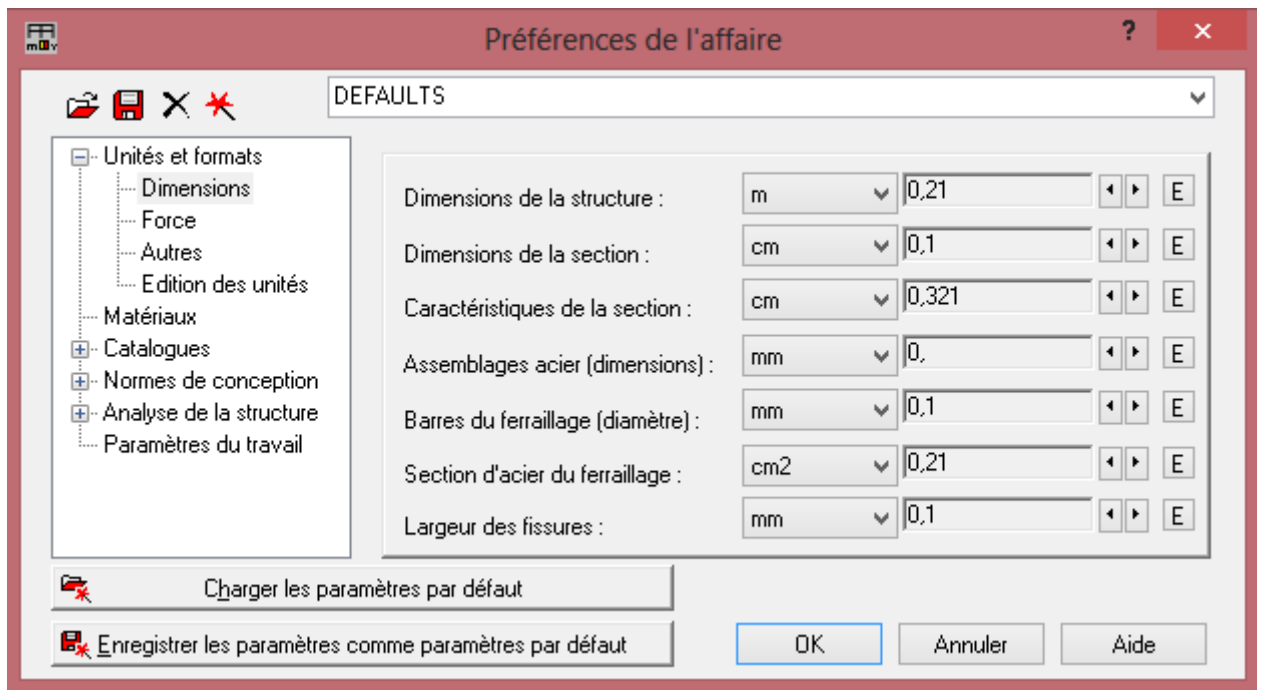
Ou allez dans le menu (Outils) et sélectionnez (Unités et formats), comme suit :



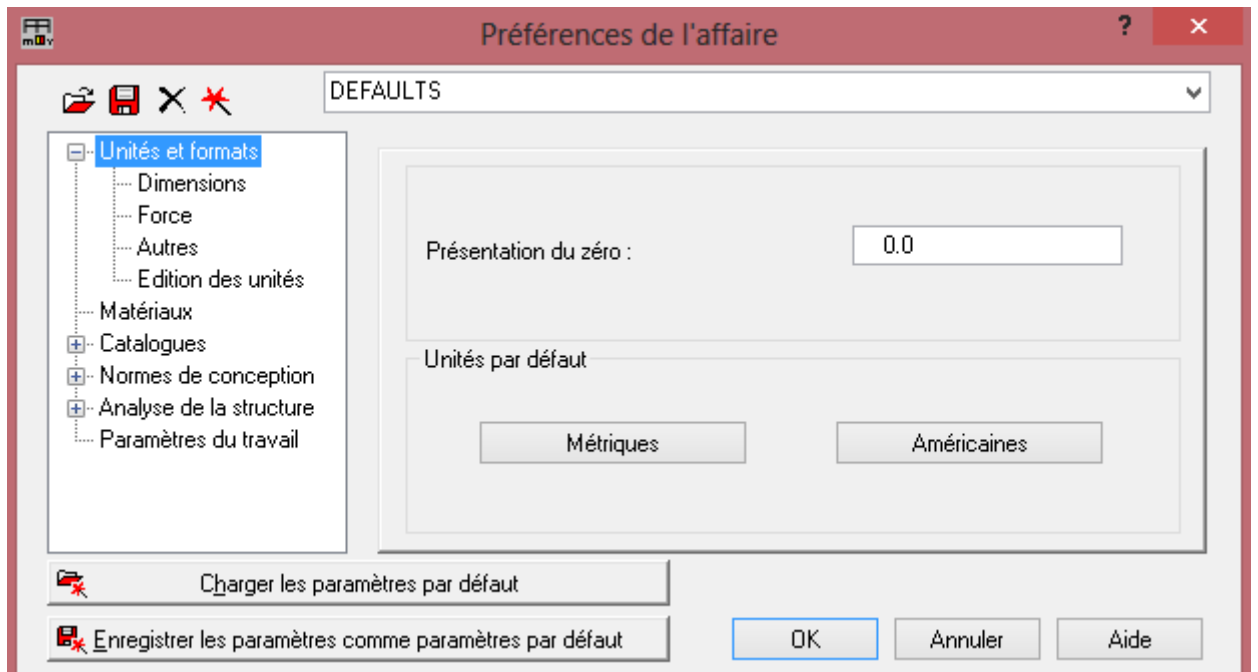
Ou allez dans le menu (Outils) et sélectionnez (Préférences de l'affaire), comme suit :



La fenêtre (Préférences de l'affaire) apparaît comme suit [04]:



Allez à la section (Unités et formats) pour choisir le système des unités virtuelles que vous voulez :



Nous trouvons alors que le logiciel offre le choix entre deux principaux types qui sont :

(Métriques) : le système des unités métriques qui utilise les unités du mètre et Newton.

(Américaines) : le système anglais des unités qui utilise les unités Pouce et Pound.

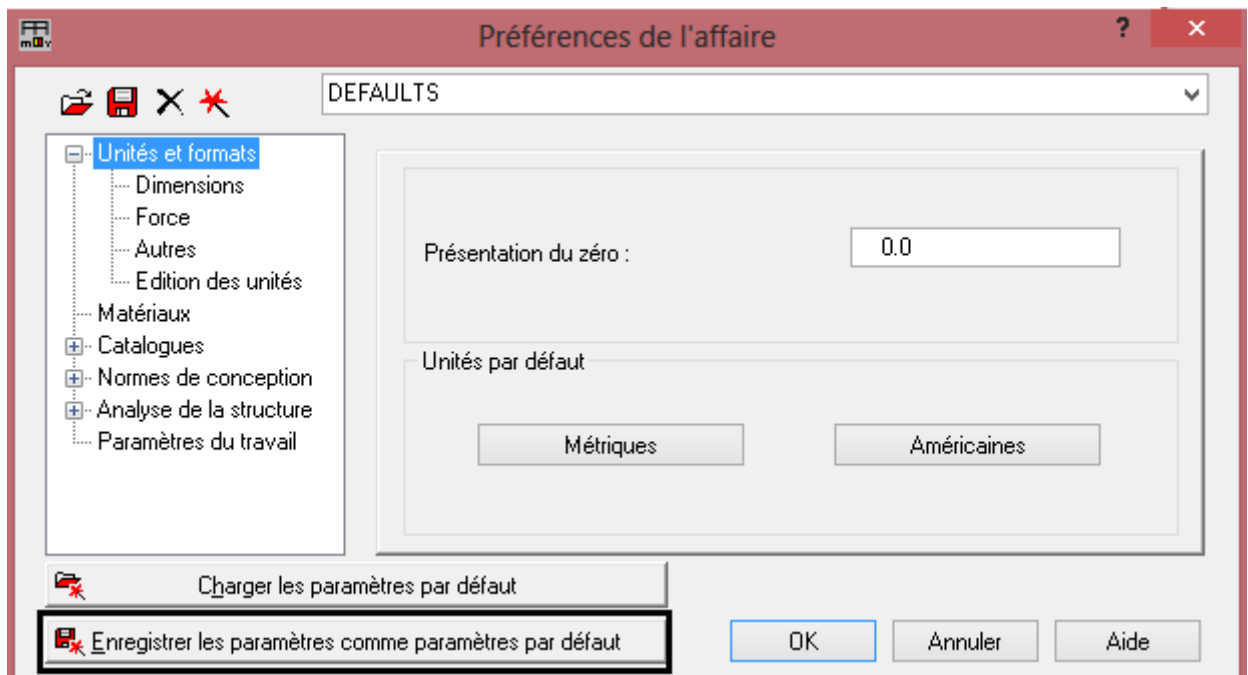


Choisissez le système qui vous convient, puis allez aux sous-sections (Dimensions- Force-Autres).

**Remarquez** que les unités que nous avons modifiées sont relatives au seul projet actuel, et ne seront pas des unités virtuelles, c'est-à-dire que les unités reviendront à leur état initial en ouvrant un nouveau projet.

#### 2.2.4. Modification des unités virtuelles du logiciel :

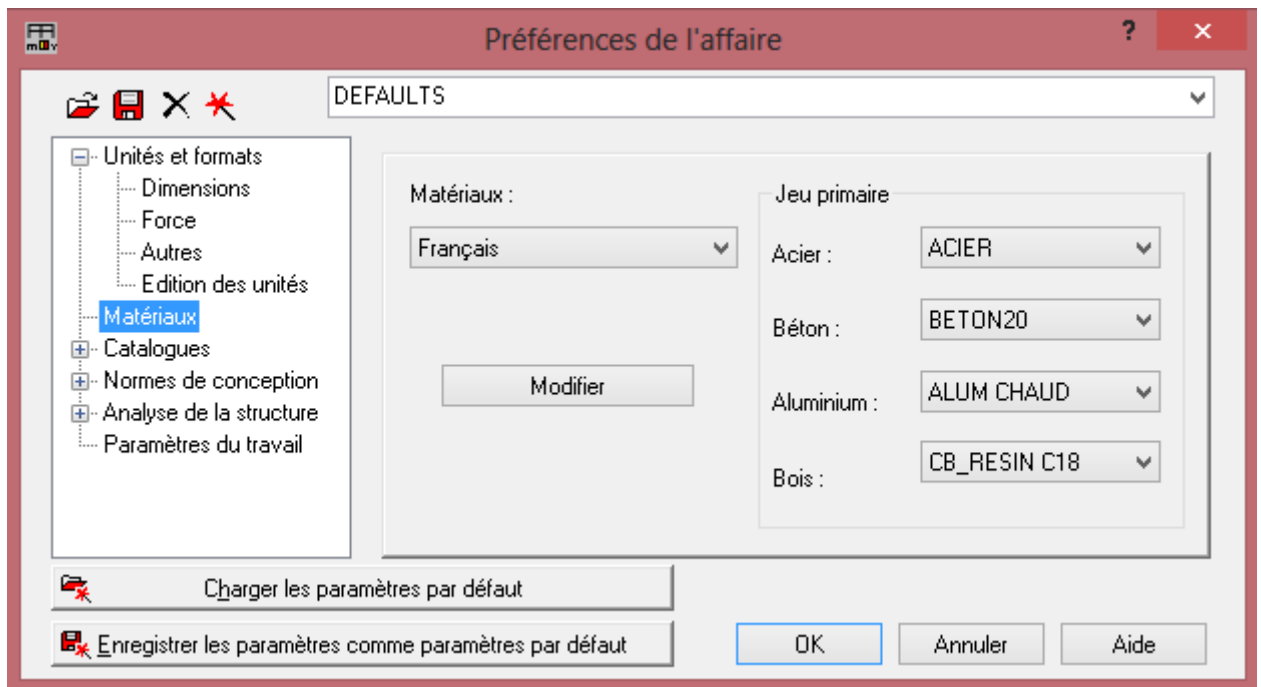
Pour enregistrer les unités modifiées et les rendre unités permanente, cliquez sur le bouton (Enregistrer les paramètres comme paramètres par défaut) et ce dans la fenêtre (Préférences de l'affaire), comme suit :



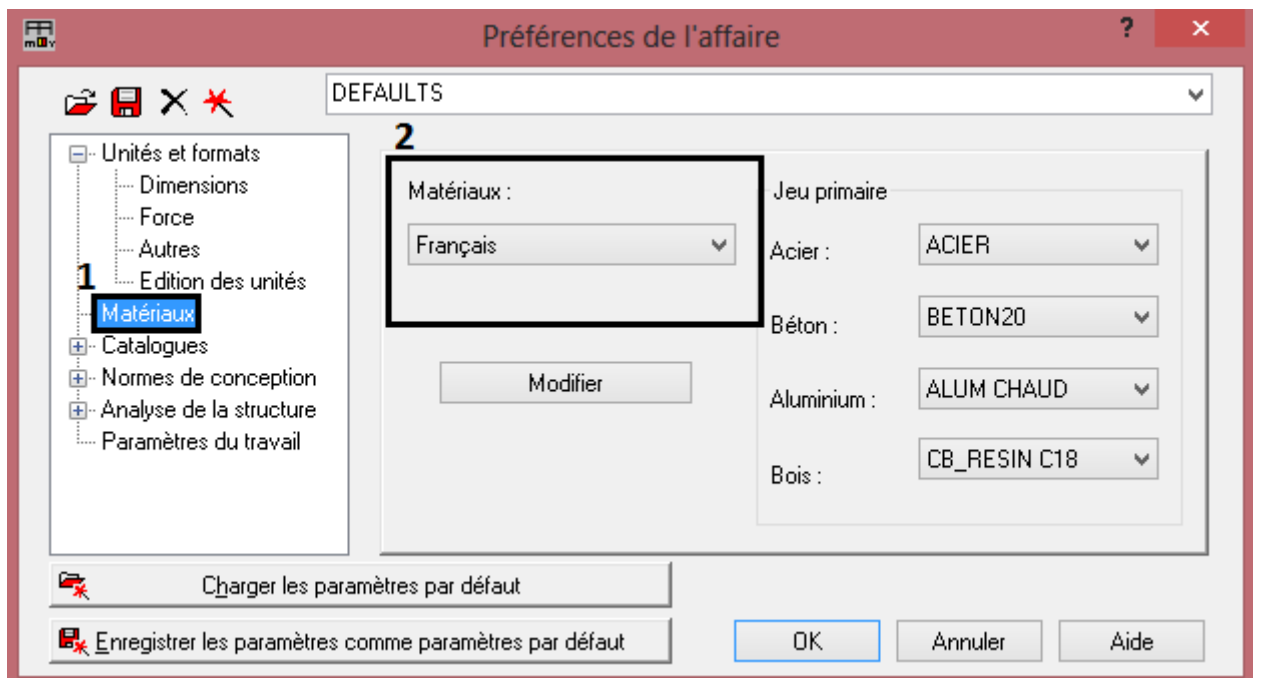
Un message de confirmation apparaîtra, cliquez alors sur le bouton (Oui).

#### 2.2.5. Comment régler les caractéristiques des matériaux :

Pour régler les caractéristiques des matériaux, allez dans le menu (Outils) et sélectionnez (Préférences de l'affaire), puis allez dans la section (Matériaux), comme suit :



Définissez le pays auquel appartient les caractéristiques des matériaux que vous voulez utiliser, en cliquant sur le bouton (Matériaux), comme suit :



Pour changer les caractéristiques des matériaux plus particulièrement, cliquez sur le bouton (Modifier). L'écran suivant s'affiche :

**Définition du matériau**

Acier | Béton | Aluminium | Bois | Autres

Nom : ACIER Description : Defaut

Elasticité		Résistance	
module d'Young E :	210000,00 (MPa)	Caractéristique	235,00 (MPa)
coefficient de Poisson $\nu$ :	0,3	réduction pour le cisaillement :	1,54
module de cisaillement G :	80800,00 (MPa)	limite en traction :	365,00 (MPa)

Densité : 77,01 (kN/m<sup>3</sup>)  Traitement thermique

Expansion thermique : 0,000011 (1/°C)

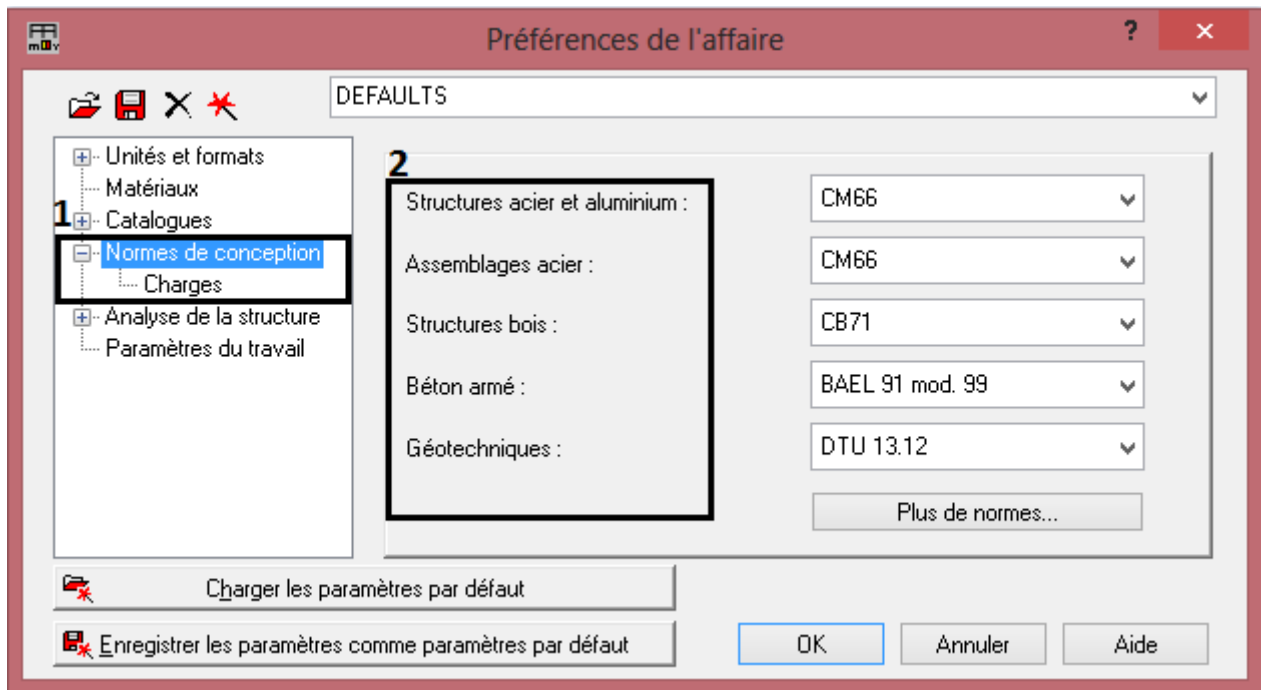
Coefficient d'amortissement : 0,04

Ajouter Supprimer OK Annuler Aide

Dans cette fenêtre, on peut changer les caractéristiques de (Acier, Béton, Aluminium et Bois), ou ajouter de nouveaux matériaux dans la section (Autres).

#### 2.2.6. Changement des normes de conception et des normes de charge :

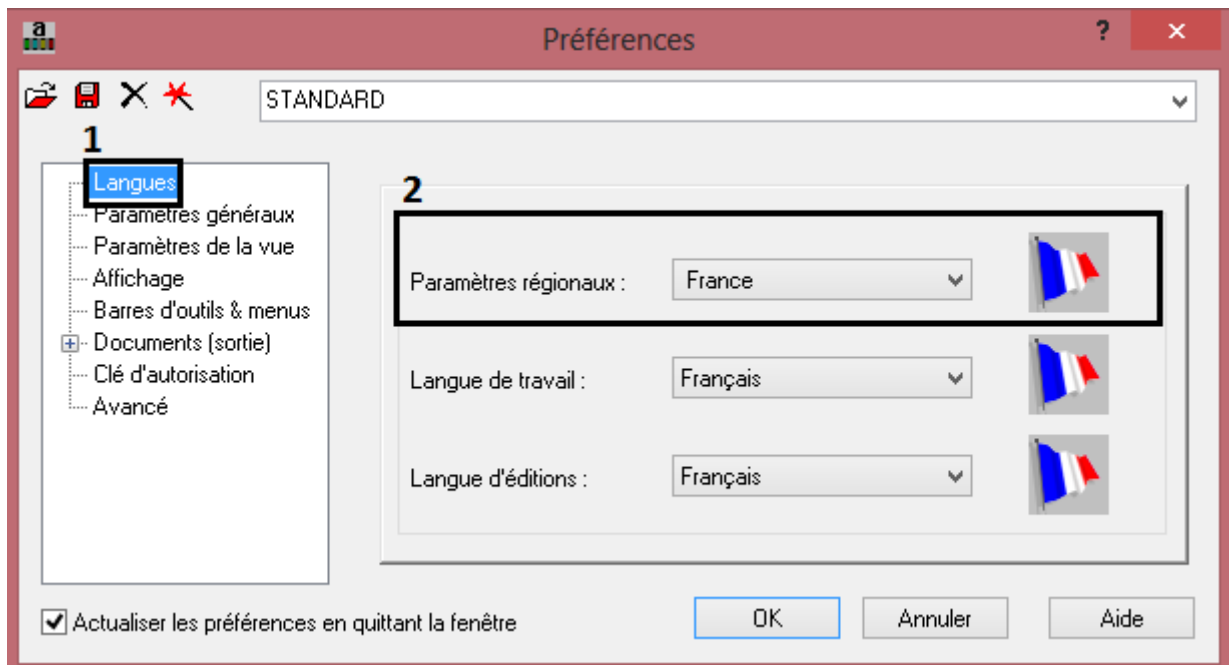
On change les normes de charges et les normes de conception dans la sous-section (Normes de conception), comme suit :



## 2.3. Modification des caractéristiques et des paramètres du logiciel :

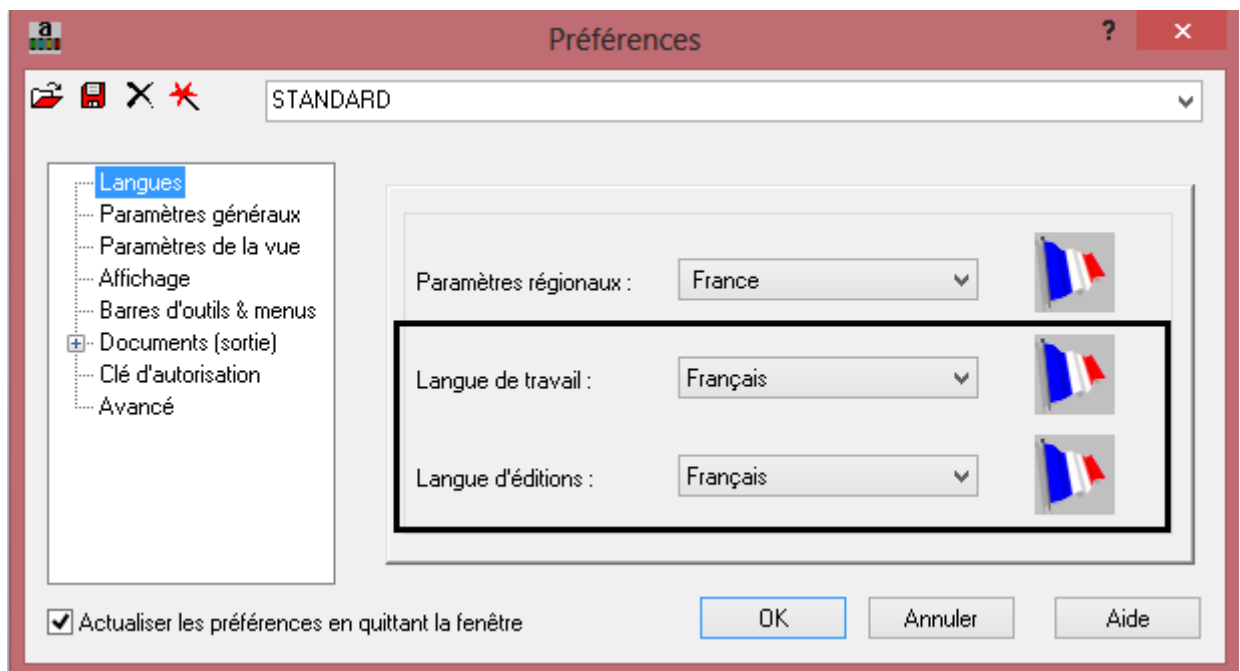
### 2.3.1. Changement de toutes les bases de données en une seule fois:

Toutes les bases de données comprenant (définition des matériaux – les unités – les normes de conception- caractéristiques des sections et du ferrailage) peuvent être changées en une seule fois, en allant dans le menu (Outils) ou on sélectionne (Préférences) puis on va dans la section (Langues) et on choisit le pays auquel on veut transférer toutes les unités dans la case (Paramètres régionaux), comme suit :



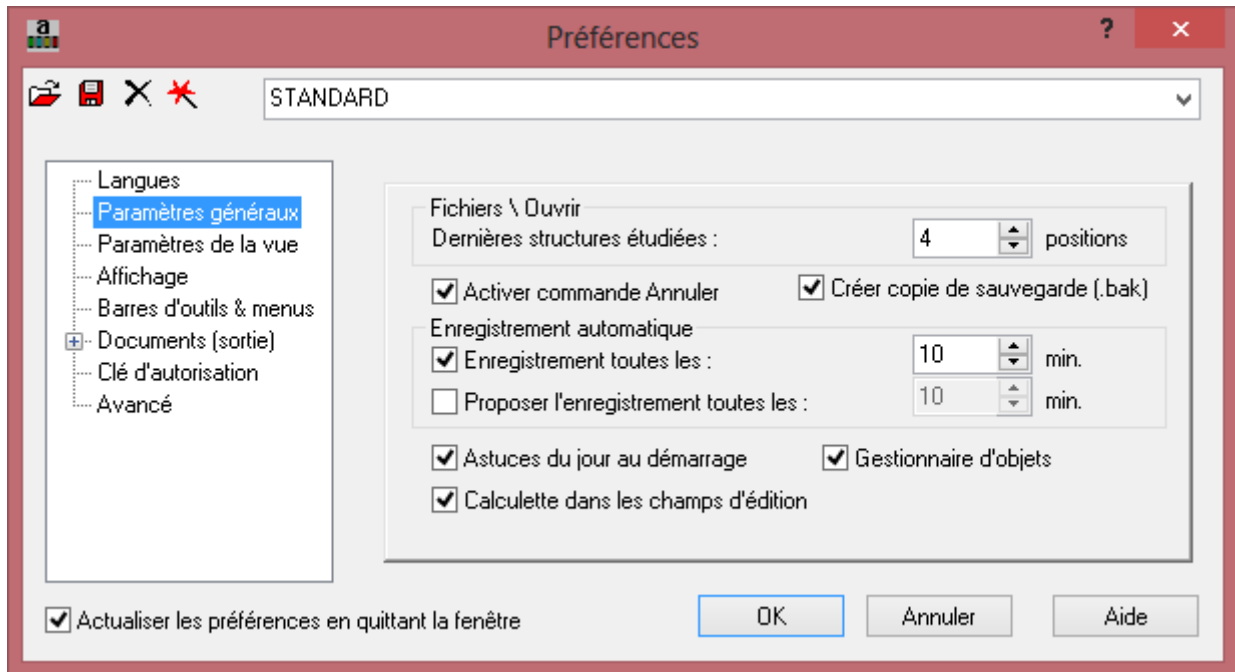
### 2.3.2. Changement de la langue du logiciel :

Le programme offre plusieurs langues parmi lesquelles on peut choisir en allant dans le menu (Outils) ou on sélectionne (Préférences) puis on va dans la section (Langues) et on choisit la langue dans les cases (Langue de travail) et (Langue d'éditations), comme suit :



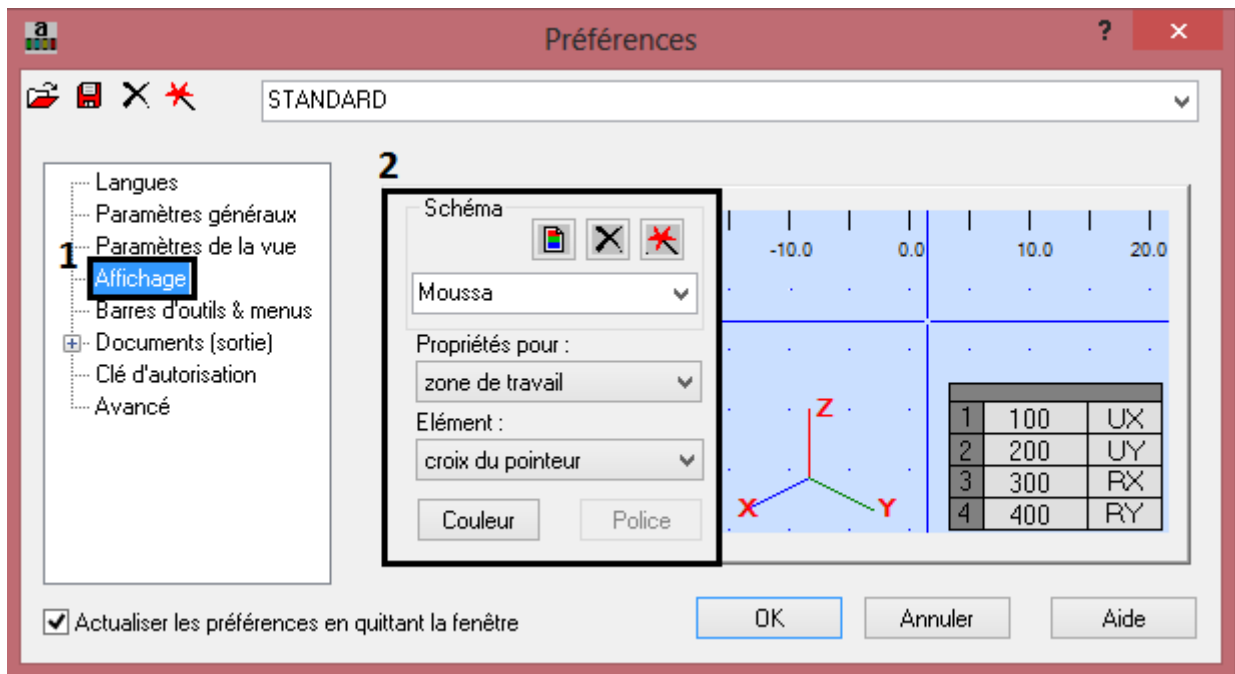
### 2.3.3. Réglage des paramètres généraux du logiciel :

Les paramètres généraux du logiciel peuvent être changés lors de l'enregistrement automatique et les messages de rappel, et l'activation de la sauvegarde d'une copie de réserve du projet...etc, et autres paramètres, en allant dans le menu (Outils), puis on sélectionne (Préférences), ensuite on va dans la section (Paramètres généraux), et on effectue les modifications nécessaires, comme suit :

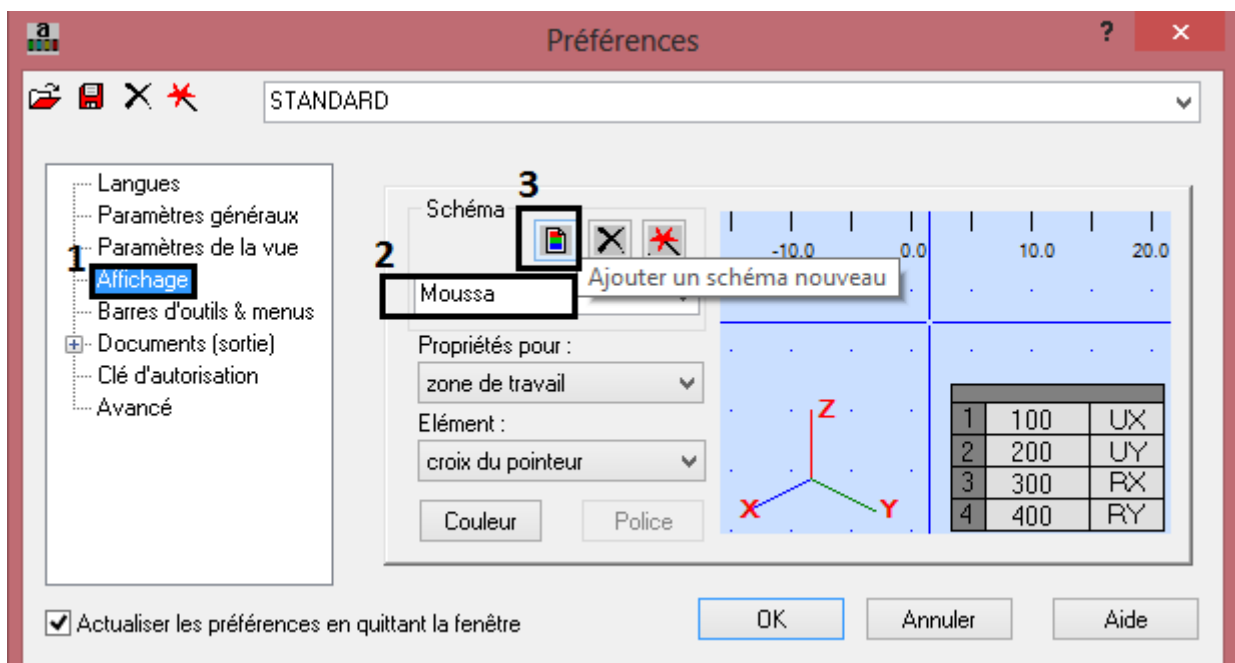


### 2.3.4. Réglage des couleurs et des lignes du logiciel :

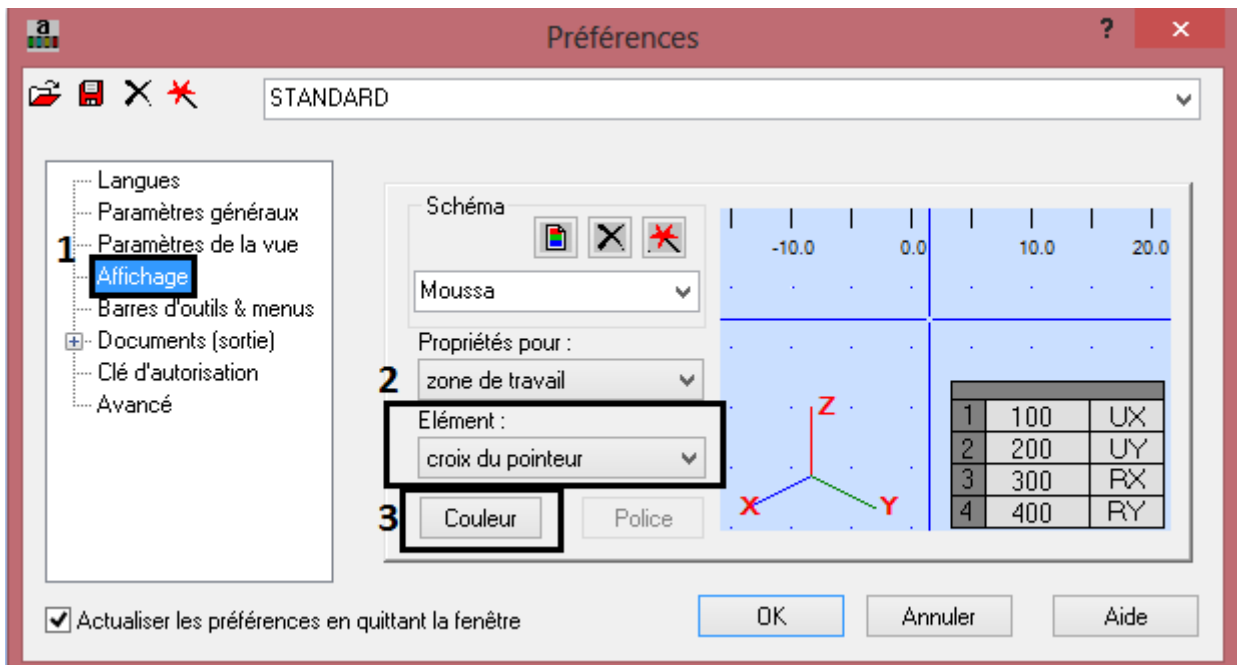
Pour régler les couleurs du logiciel telles que l'arrière-plan et les couleurs des résultats, ainsi que les lignes et leurs volumes, et autres réglages d'apparences et de forme, allez dans le menu (Outils), et sélectionnez (Préférences), ensuite allez dans la section (Affichage), et effectuez les modifications nécessaires, comme suit :



**Exemple :** choisissez thème propre à vous, en tapant le nom du thème dans la case (Schéma), puis cliquez sur (Ajouter un schéma nouveau), comme suit :



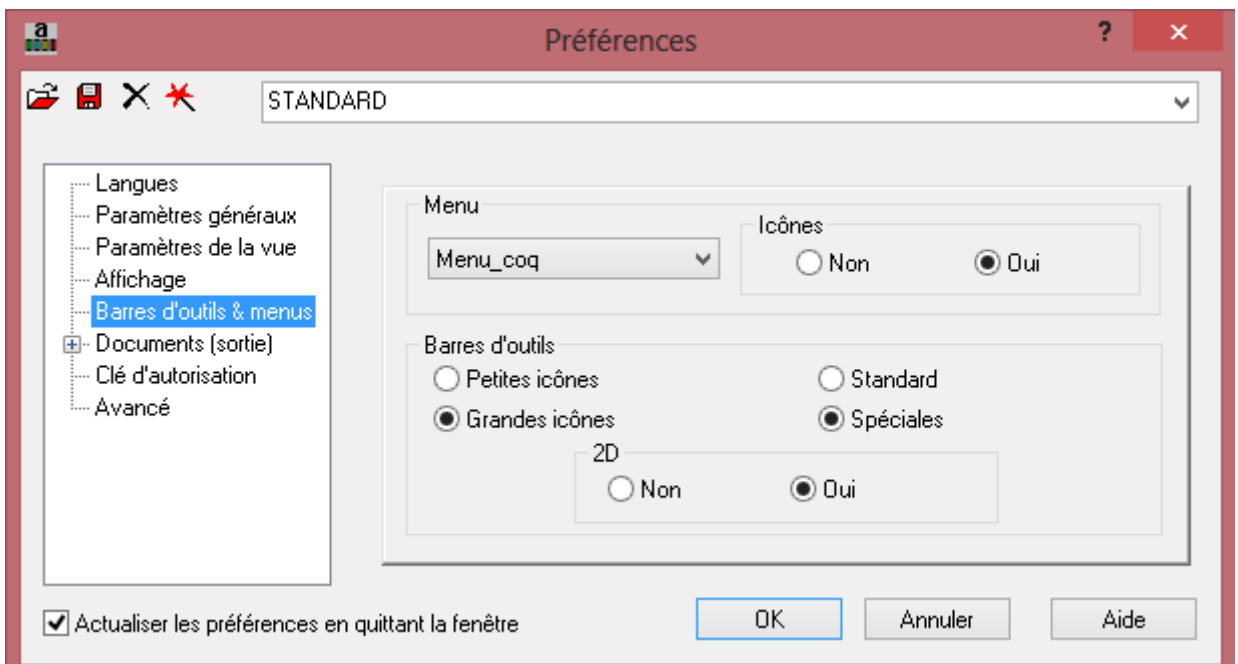
Maintenant, vous avez un nouveau thème actif. Pour changer la couleur de l'arrière-plan, allez dans la case (Élément), et choisissez (croix du pointeur), puis cliquez sur le bouton (Couleur), comme suit :



Un ensemble de couleurs apparaît alors. Choisissez la couleur qui vous convient, et cliquez sur OK. Ainsi procédez au changement des autres couleurs et lignes du logiciel.

### 2.3.5. Réglage de la forme des menus et des barres d'outils :

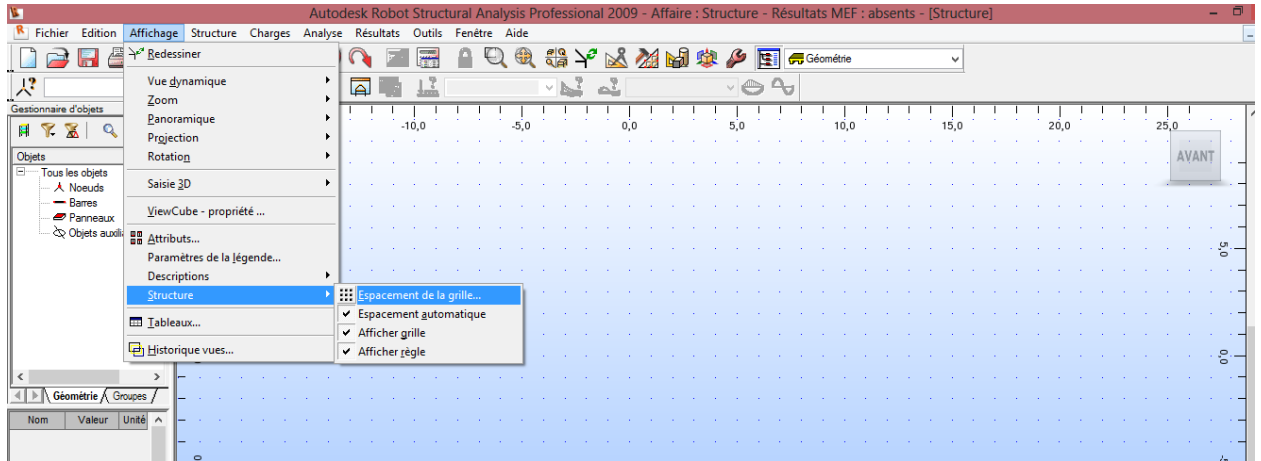
Pour régler la forme des menus, barres d'outils et le volume des icônes, allez dans le menu (Outils) ; et sélectionnez (Préférences), puis allez dans la section (Barres d'outils et menus), ensuite procéder aux modifications nécessaires, comme suit :



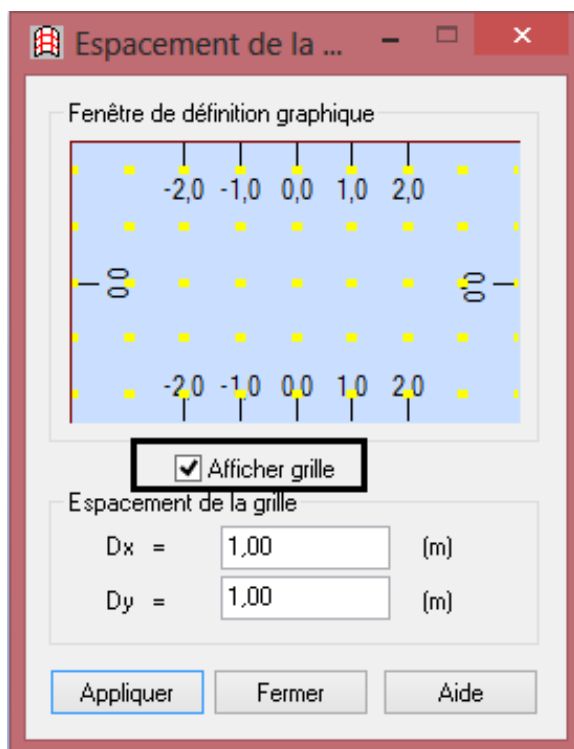


## 2.4. Commande des espacements de la grille :

On remarque dans la fenêtre principale du logiciel l'existence d'une grille semblable à celle du logiciel AutoCAD. La fonction de cette grille est d'aider dans le dessin et la modélisation des différents éléments. Et pour commander cette grille et changer ses caractéristiques, allez dans le menu (Affichage) et choisissez le sous-menu (Structure), comme suit :

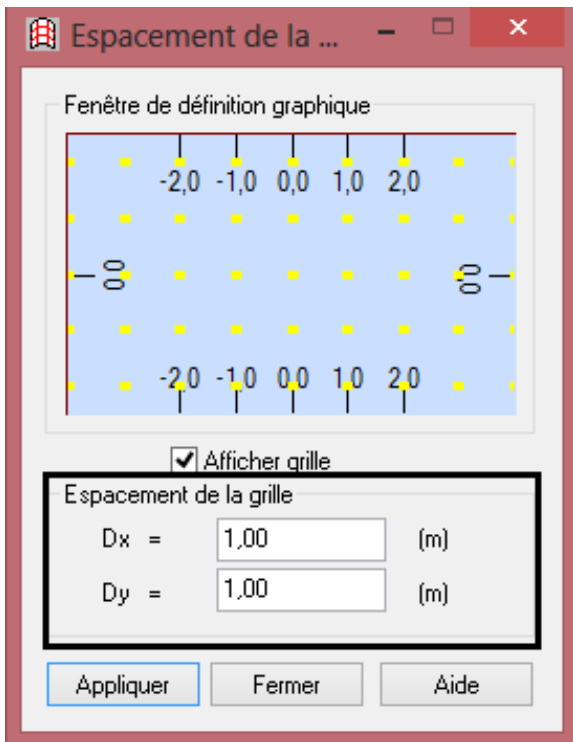


*Espacement de la grille* : Pour commander les caractéristiques de la grille. Lorsqu'on le sélectionne, la fenêtre suivante apparaît :

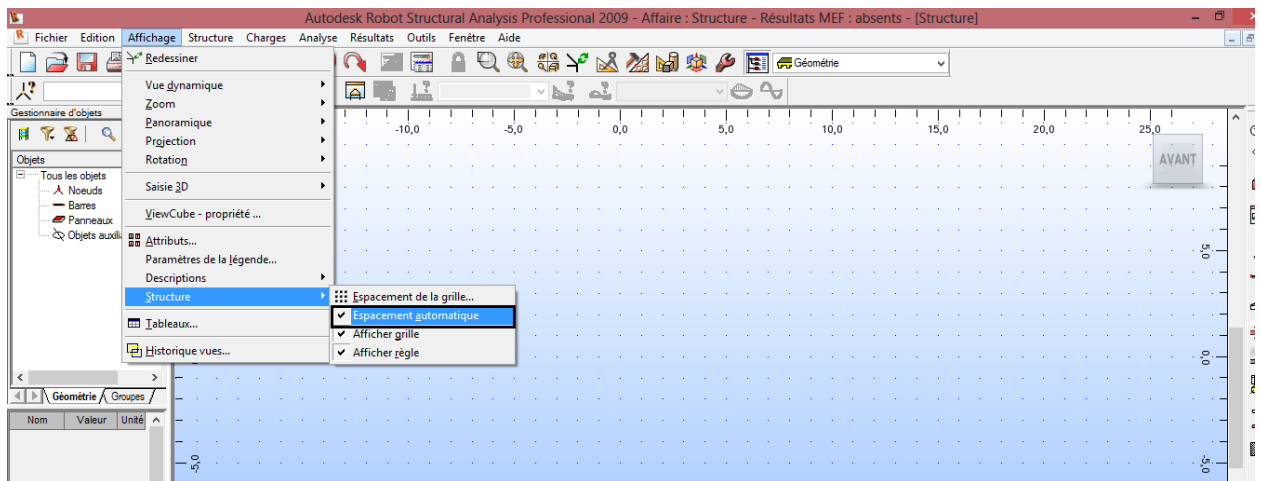


L'option (Afficher grille) est utilisée pour afficher ou dissimuler les points de la grille.

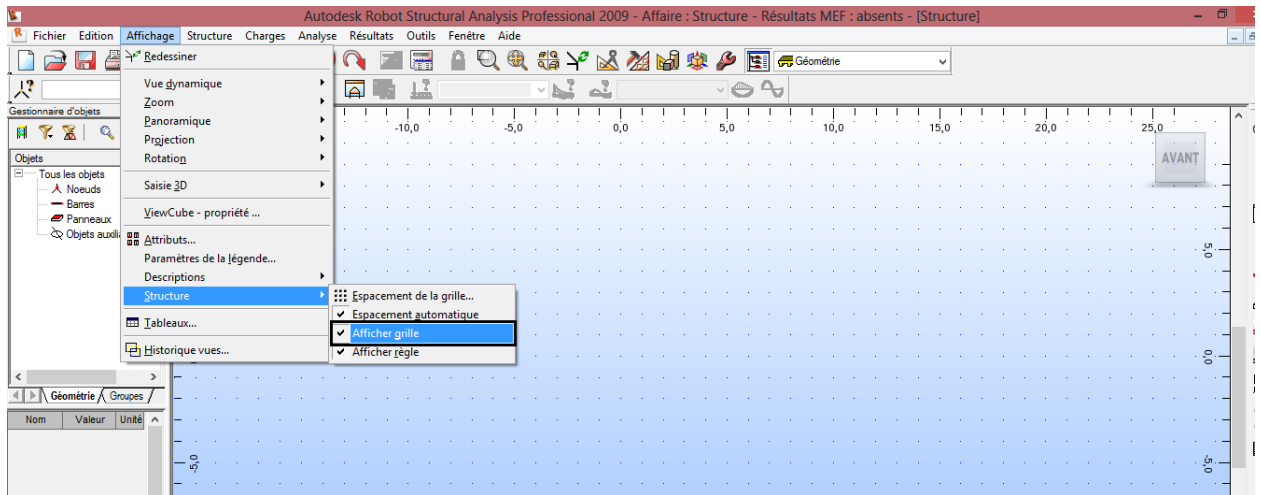
La section Espacement de la grille permet de définir l'espacement vertical et horizontal.



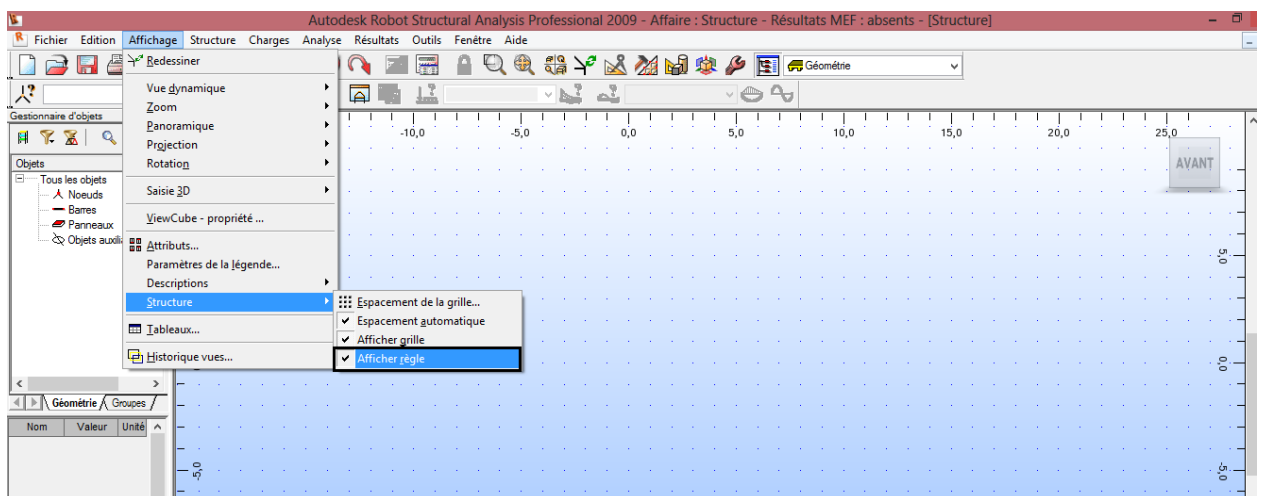
*Espacement automatique* : permet d'ajuster les dimensions et la forme de la grille automatiquement.



*Afficher grille*: permet d'afficher ou dissimuler les points de la grille.

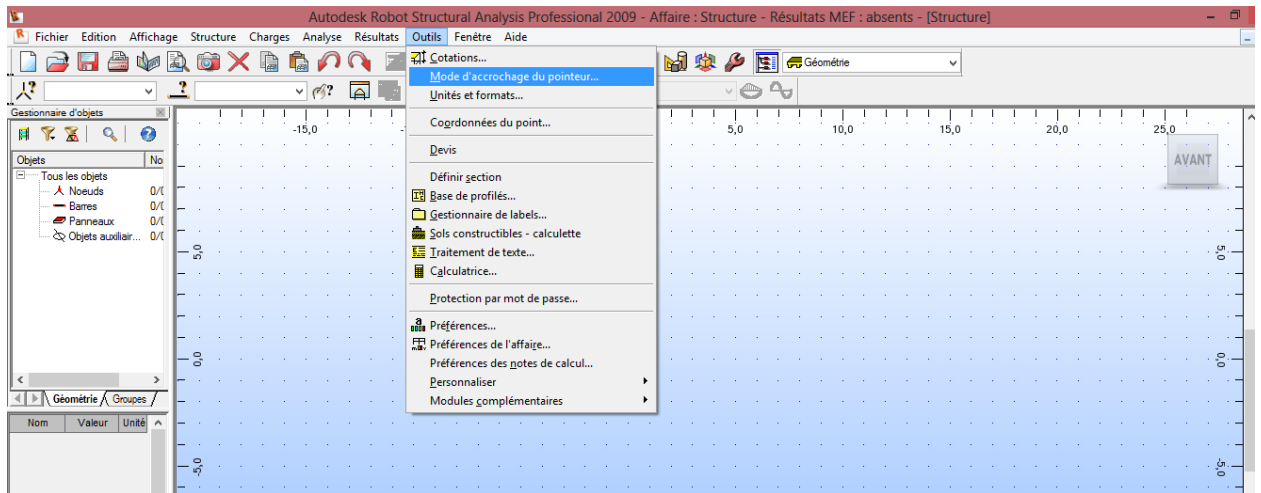


Afficher règle : permet d'afficher ou de dissimuler la répartition du contour de l'écran de tous les côtés, et qui ressemble à une règle.

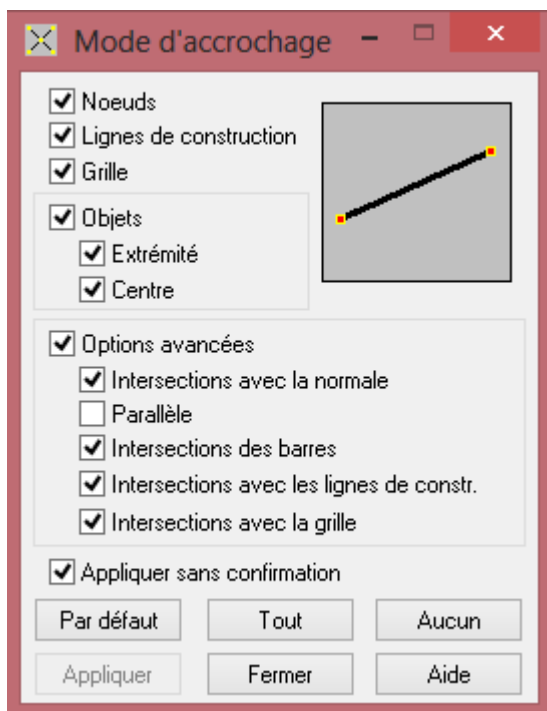


### 2.5. Réglage des paramètres du mode d'accrochage:

Pour régler les paramètres d'accrochage allez dans le menu (Outils) et sélectionnez (Mode d'accrochage du pointeur), comme suit :



La fenêtre suivante s'affiche :



Noeuds : Accrocher le point le plus proche du mouvement de la souris.

Lignes de construction : accrocher les axes insérés.

Grille : accrocher les points de la grille.

Extrémité : accrocher le point de début et de fin des éléments linéaires.

*Centre* : accrocher le point de milieu des éléments linéaires et des limites des surfaces.

*Intersections avec la normale* : accrochage perpendiculaire.

*Parallèle* : accrochage parallèle.

*Intersections des barres* : accrochage des points d'intersection.

*Intersections avec les lignes de grille* : accrochage des points d'intersection avec les axes.

*Intersections avec la grille* : accrochage des points d'intersections avec les points de la grille.

*Appliquer sans confirmation* : approuvez les options que vous définissez dans cliquer sur le bouton (Appliquer).

## Chapitre 3

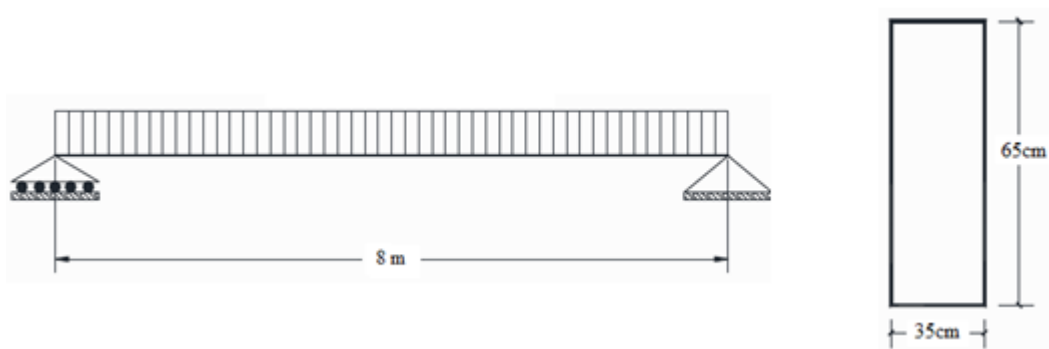
## Exercice pratique

### 3.1. Etapes de modélisation, d'analyse et d'affichage des résultats :

A travers l'exemple suivant, nous allons expliquer les étapes d'étude d'un cadre bidimensionnel (Etude d'un portique plan) et de la reconnaissance de la méthode de dessin de ses axes, puis le choix des dimensions des coupes de ses éléments. Ensuite le charger avec les charges demandées, l'analyser et extraire ses résultats.

### 3.2. Exemple :

Faites analyser la poutre ci-après, en sachant que la poutre est en béton armé, la section de poutre est de 35x65 cm,  $f_{c28}=25\text{N/mm}^2$ , Fe 360. La poutre reçoit des charges réparties  $G=2\text{ KN/m}$  et  $Q=2\text{ KN/m}$ , en plus du poids propre de la poutre.



**Figure 3.1** Poutre rectangulaire.

Nous allons répartir la solution en trois étapes, et ce pour faciliter l'explication.

Première étape :

- 1- Choix du modèle adéquat.
- 2- Définition des axes.
- 3- Définition des sections pour les éléments barres.
- 4- Attribution des matières des sections ajoutées.
- 5- Définition des cas de charges et combinaisons d'actions

Deuxième étape :

- 1- Dessin des éléments barres.
- 2- Définition des appuis.
- 3- Attribution des charges.

Troisième étape :

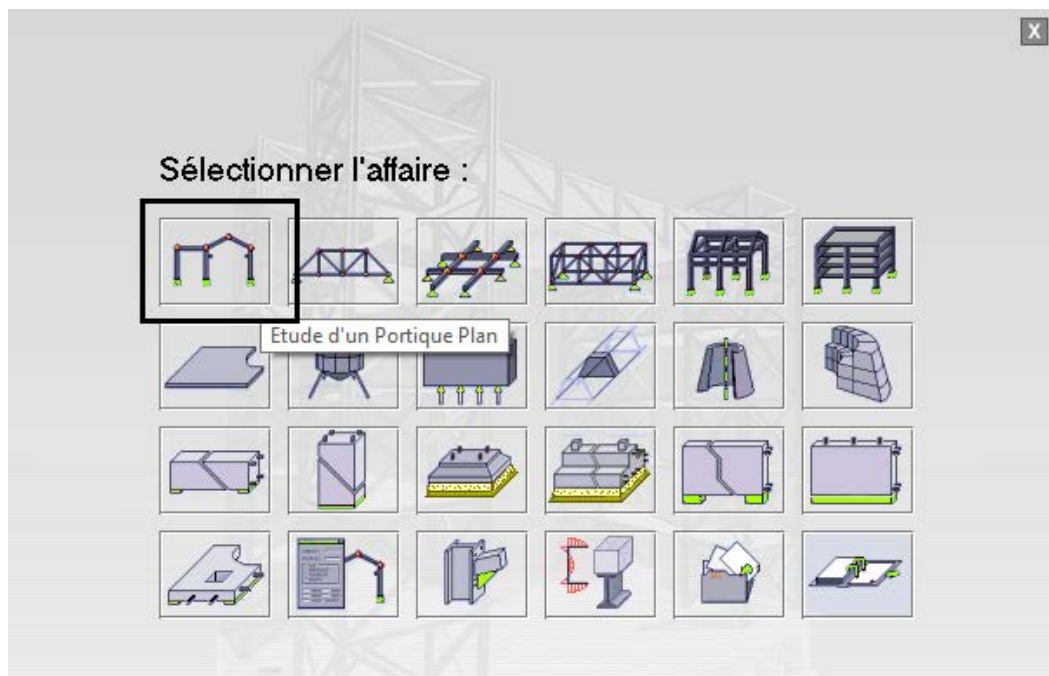
- 1- Solution et analyse de la structure.
- 2- Exposition des résultats de l'analyse.

**Solution :**

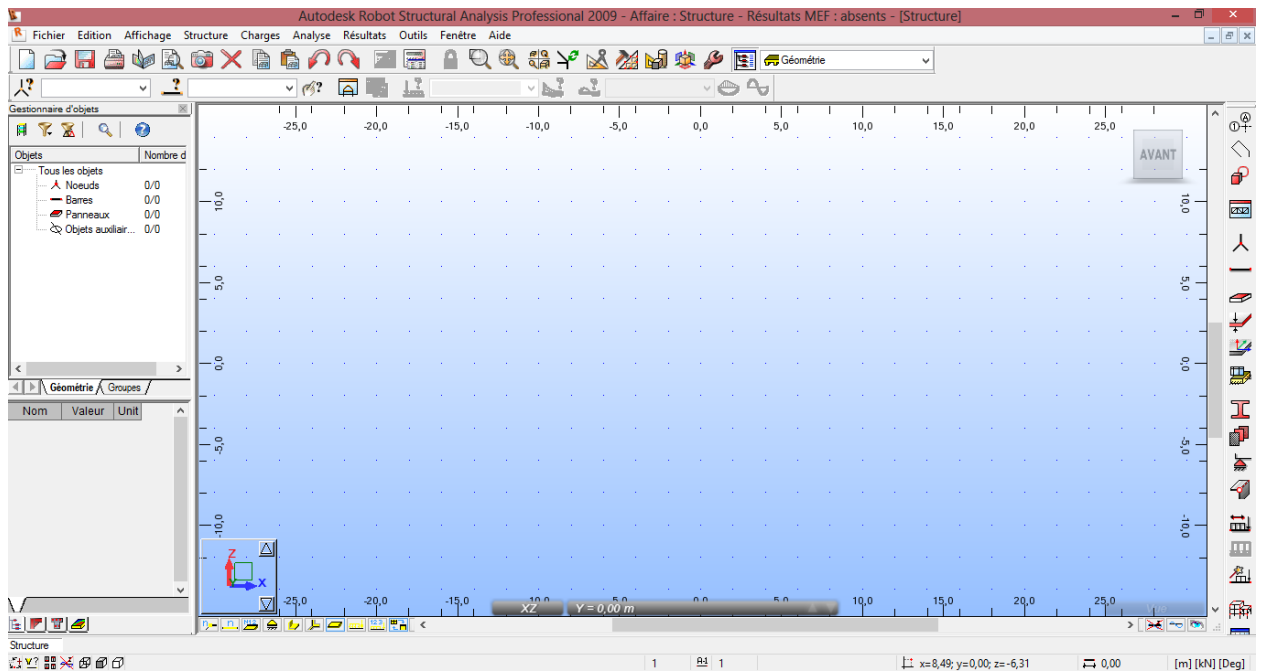
### 3.3. Première étape :

#### 3.3.1. Choix du modèle adéquat.

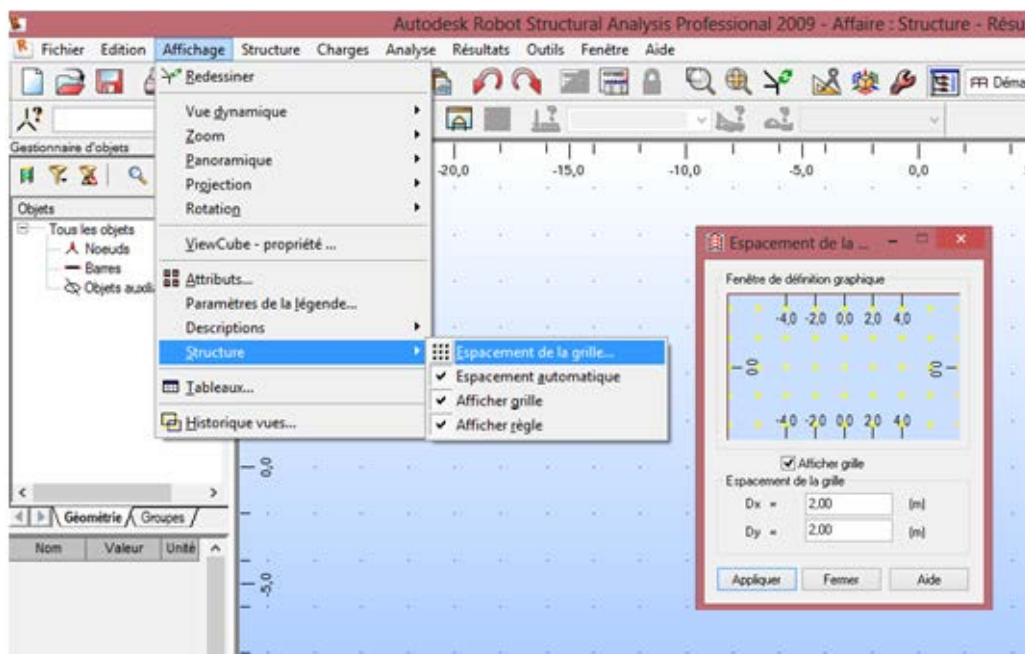
Lors de l'ouverture du logiciel Robot, apparaît la liste suivante, qui nous donne le choix de définir le type de structure ou l'élément à étudier. Actuellement nous allons définir le choix (Etude d'un portique plan) selon la figure suivante :



Lorsque nous définissons le type de structure à étudier, l'écran principal du logiciel apparaît. Cette dernière contient les instructions principales en haut, ainsi que les barres d'outils en haut, en bas et à droite de l'écran. Celles-ci se trouvent parmi les instructions principales.



Au début nous allons définir la répartition de la grille des axes de la structure par le biais de l'instruction (Espacement de la grille). La liste suivant apparait alors :



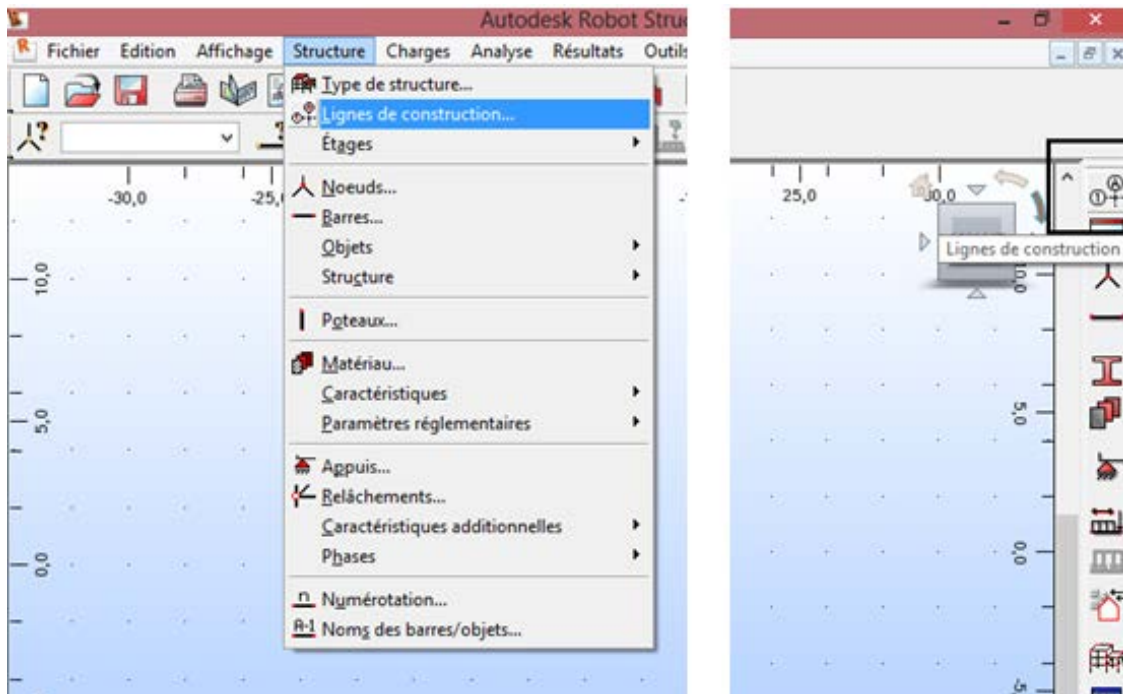
Dans la case Dx et Dy nous insérons les distances voulues pour les lignes de la grille, et sur la base desquelles les axes de la structure seront dessinés dans l'étape suivante. Dans notre exemple, nous avons choisi la valeur (2m) dans les deux directions X et Y, puis on clique sur l'instruction (Appliquer), et on ferme ensuite la fenêtre à l'aide de l'instruction (Fermer).



Remarque : l'activation de l'instruction (Afficher grille) fait apparaître les points de la grille. Il peut être désactivé pour dissimuler la grille afin de ne pas déranger lors du travail.

### 3.3.2. Définition des axes :

Les axes sont des lignes imaginaires utilisées dans le dessin. On peut par exemple dessiner les cadres ou les poutres en définissant un ensemble d'axes portant les caractéristiques demandées et cela en allant sur la liste (Structure) où on choisit (Lignes de construction), ou en cliquant sur l'instruction (Lignes de construction) sur la droite de l'écran principal du logiciel, ainsi qu'il apparaît dans la figure.

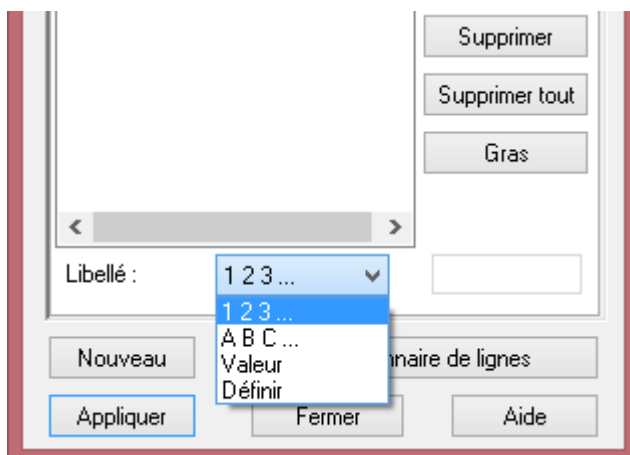


La fenêtre de définition des axes apparaît, voir figure.



On remarque que la liste comporte les directions X et Z, tandis que l'axe Y est inexistant, et ce car nous travaillons dans un domaine bidimensionnel (Etude d'un portique plan). Lorsqu'on travaille dans un domaine tridimensionnel, la troisième dimension Y apparaît.

La numérotation des axes est commandée par le biais de la case (Libellé). On peut ainsi numéro les axes par plus d'une manière. Par exemple, on choisit (1.2.3...) dans la case (Libellé) pour définir les axes dans la direction X, et (A.B.C...) pour définir les axes dans la direction Y, et (Valeur) pour définir les axes dans la direction Z. Voir figure ci-dessous.



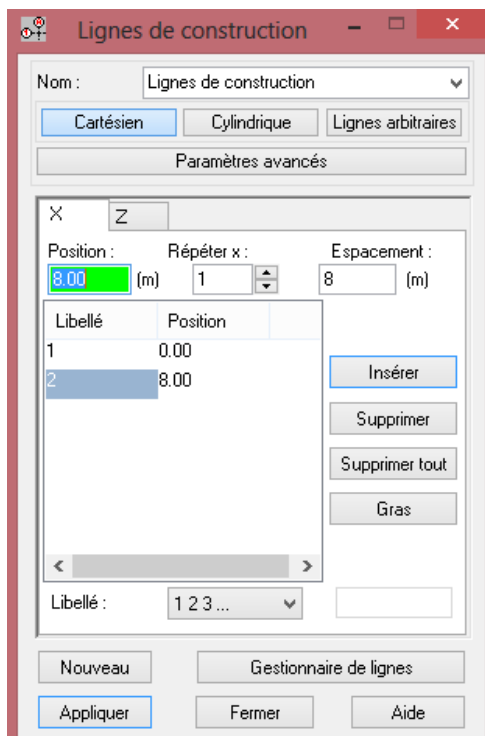
On choisit la section (Cartésien) pour entrer les coordonnées cartésiennes, et ici nous avons deux méthodes pour entrer les dimensions :

- a- *Position* : insertion des distances des axes pour le premier axe entré. Il est préférable de prendre la coordonnée 0.00 pour la première ligne (dans n'importe quelle direction).
- b- *Répéter x* : on entre les axes en fonction de répétition entre eux.
- c- *Insertion des coordonnées de la direction X par la méthode des coordonnées (Position)* :  
Faites entrer la première coordonnée qui est 0.00 dans la case (Position), puis cliquez sur le bouton (Insérer) puis insérez la deuxième et dernière coordonnée qui est 8 dans la case (Position) et cliquez sur le bouton (Insérer), en prenant en considération le choix de numérotation adéquat pour les axes dans la case (Libellé).

Remarque : on peut supprimer l'axe indésirable par l'instruction (Supprimer), comme on peut supprimer tous les axes par l'instruction (Supprimer tout).

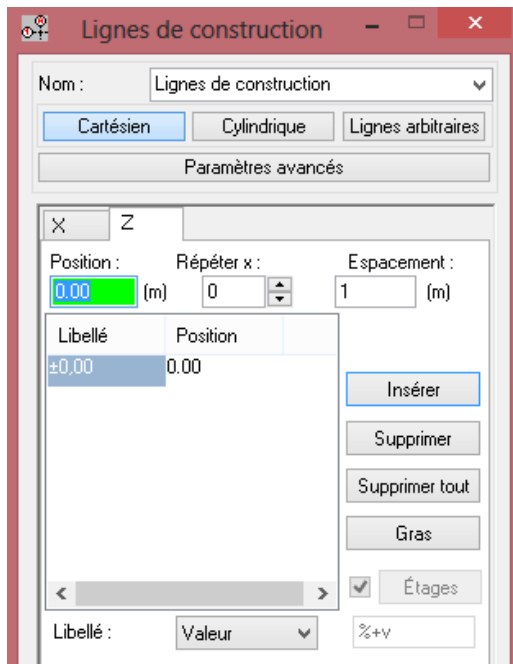
- d- *Insertion des coordonnées X par la méthode de répétition (Répéter x)*.

Faites entrer la valeur de répétition qui est 8 dans la case (Espaceur), puis entrez le nombre de répétitions qui est 1 dans la case (Répéter x), ensuite cliquez sur le bouton (Insérer).

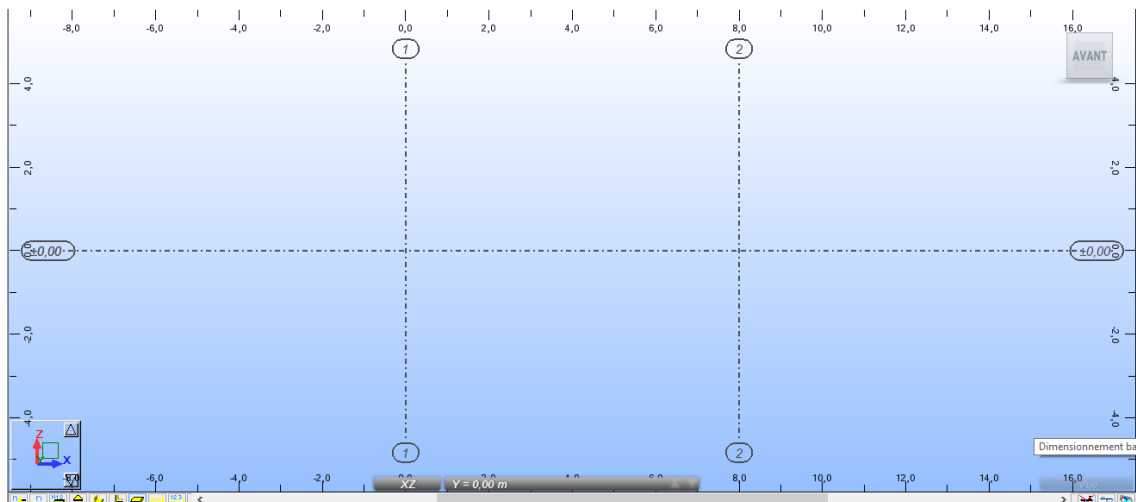


- e- *Insertion des coordonnées de la direction Z :*

Maintenant nous insérons le seul axe dans la direction Z et ce en entrant la coordonnante 0.00 dans la case (Position), puis on appuie sur le bouton (Insérer), en prenant en considération le choix de la numérotation adéquat dans la case (Libellé).

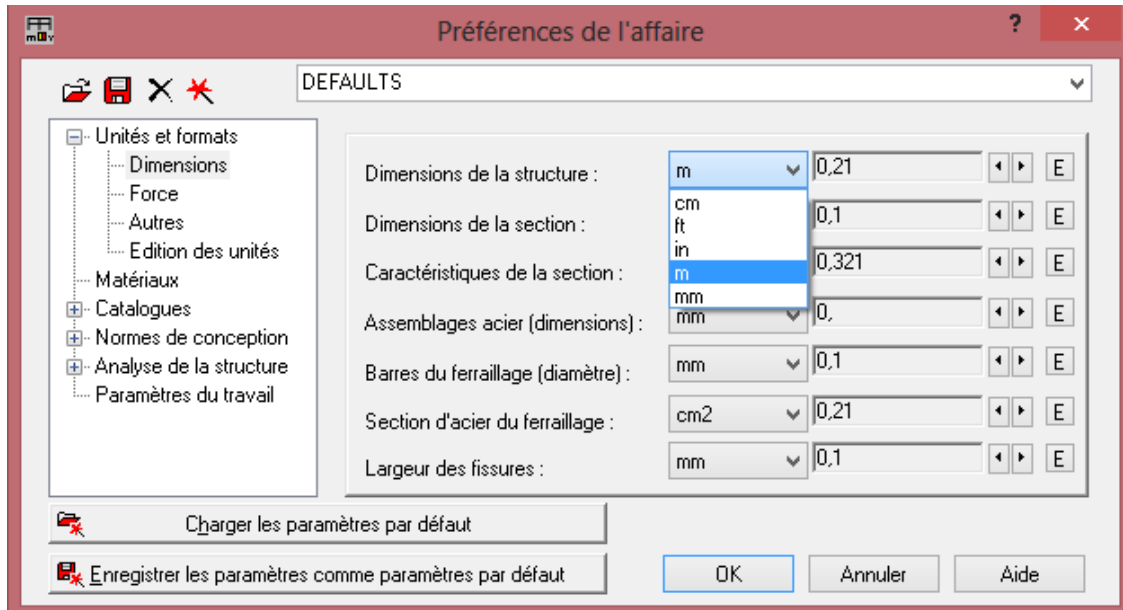


Maintenant nous cliquons sur le boutons (Appliquer) puis (Fermer). Les axes apparaissent alors dans la forme suivante :



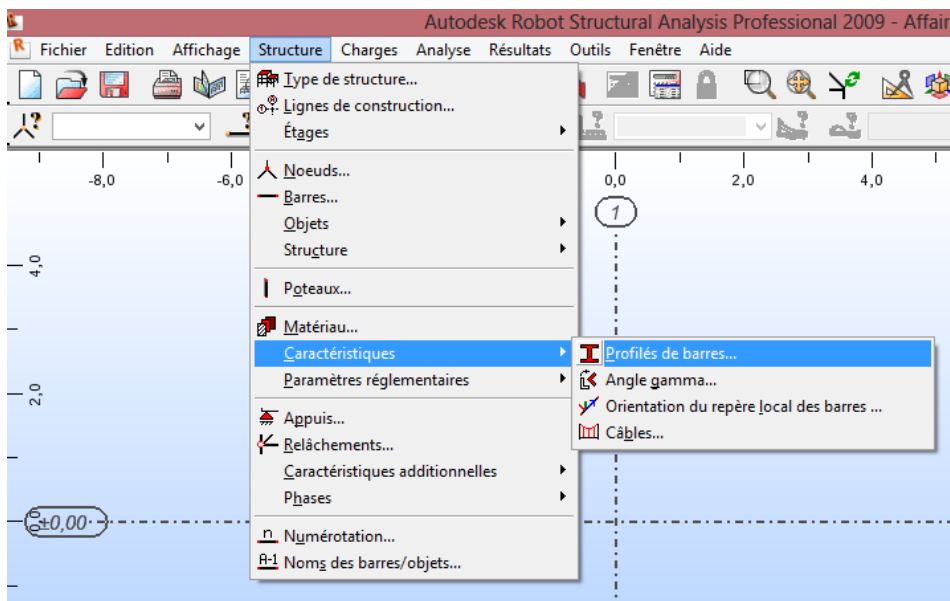
**Remarque :** nous remarquons que les dimensions des axes seront insérés en utilisant l'unité du mètre (m), et ce suivant les données définies préalablement par l'instruction (Préférences de l'affaire) qui se trouve dans la liste principale (Outils), ceci en modifiant l'unité de mesure des dimensions dans la fenêtre

(Dimensions de la structure) dans l'instruction (Dimensions) qui se trouve dans l'instruction relative aux unités (Unités et formats, voir la fenêtre suivante :

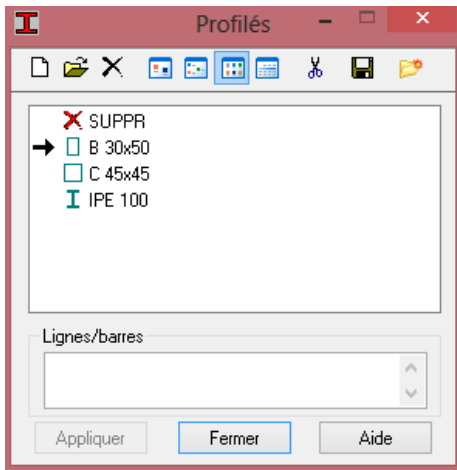


### 3.3.3. Définition des sections pour les éléments barres:

Les sections de poutres et poteaux et tous autres éléments barres sont définies en allant sur la liste (Structure), ensuite on choisit la liste (Caractéristiques), puis on choisit (Profilés de barres...) tel qu'il est montré :



La fenêtre suivante apparait alors :

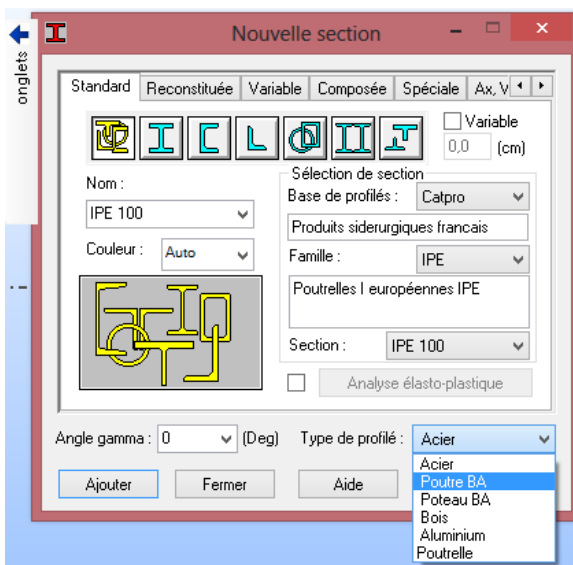


On remarque l'existence de trois sections définies par le logiciel virtuellement. On trouve alors que la première section (B 30x50) représente une poutre en béton armé, et la deuxième section (C 45x45) représente un poteau en béton armé, et la troisième section (I IPE 100) représente une poutre en acier.

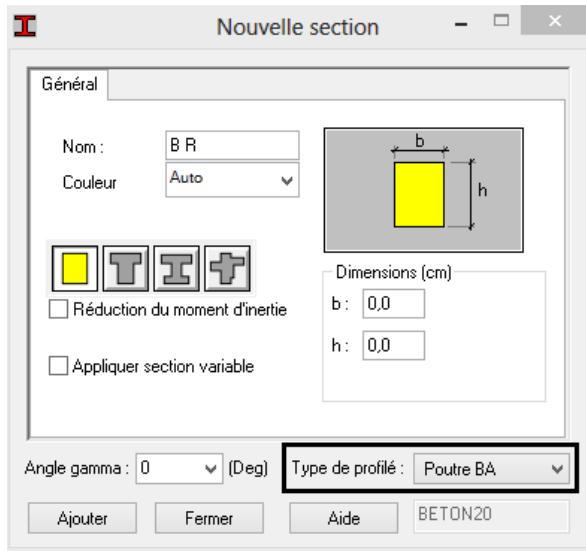
Pour modifier les caractéristiques d'une de ces sections, faite un double-clic sur la section en question, le logiciel ouvre alors une nouvelle fenêtre pour modifier les caractéristiques de cette section.

### 3.3.3.1. Ajout d'une nouvelle section :

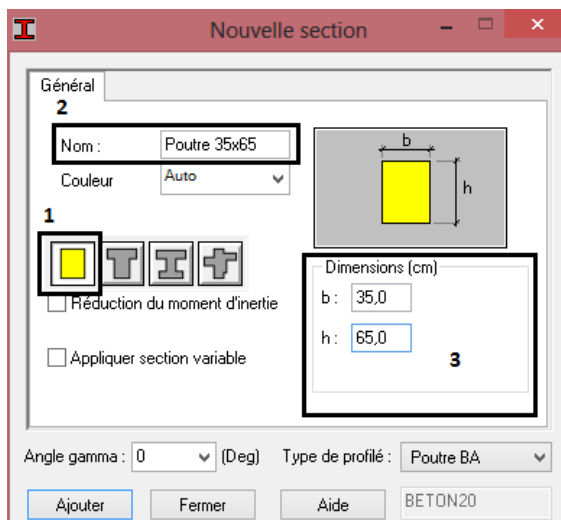
Premièrement, on clique sur l'icône (Définir un nouveau profilé), une nouvelle fenêtre appelée (Nouvelle section) apparaît alors. Le contenu de cette fenêtre change en fonction du type d'élément défini dans la case (Type de profilé). Par exemple, lorsqu'on choisit le type de section en béton armé (Poutre BA), les sections suivantes apparaissent :



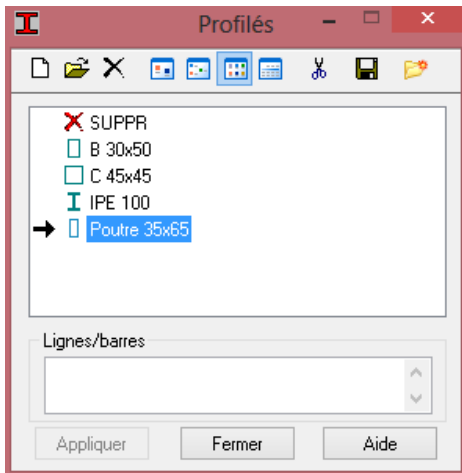
Pour définir la section de poutre montrée dans l'exemple, choisissez le type de section (Poutre BA) dans la case (Type de profilé), voir figure :



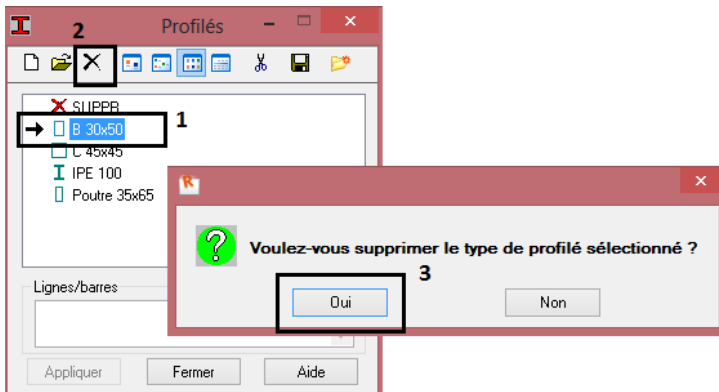
Puis choisissez la forme de section rectangulaire dans les formes existantes. Ensuite entrez le nom de la poutre dans la case (Nom) soit (Poutre 35x65). Puis entrez les dimensions de la section de poutre dans la partie (Dimensions), comme le montre la figure.



Cliquez ensuite sur le bouton (Ajouter). La section est alors ajoutée. Cliquez sur le bouton (Fermer) pour terminer l'instruction.



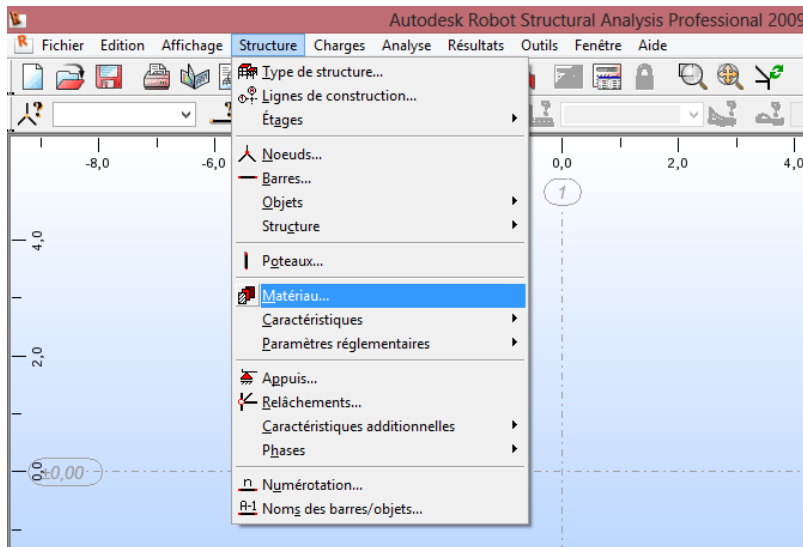
Remarque : on peut supprimer les dimensions des sections non utilisées dans la structure et qu'on trouve dans la fenêtre précédentes par l'instruction (Supprimer le profilé de la liste active), et ce en définissant la section à l'aide de la souris et du curseur (voir figure ci-dessus). Ensuite activer la dite instruction. La fenêtre suivante de confirmation de suppression apparait avec les choix Oui ou Non.



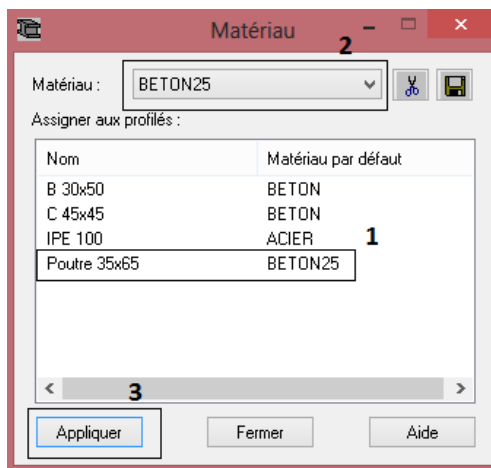
### 3.3.4. Attribution des matières des sections ajoutées.

Pour attribuer une matière pour la section définie, allez dans la liste (Structure) puis choisissez (Matériau...), voir figure :





La fenêtre suivante apparaît :

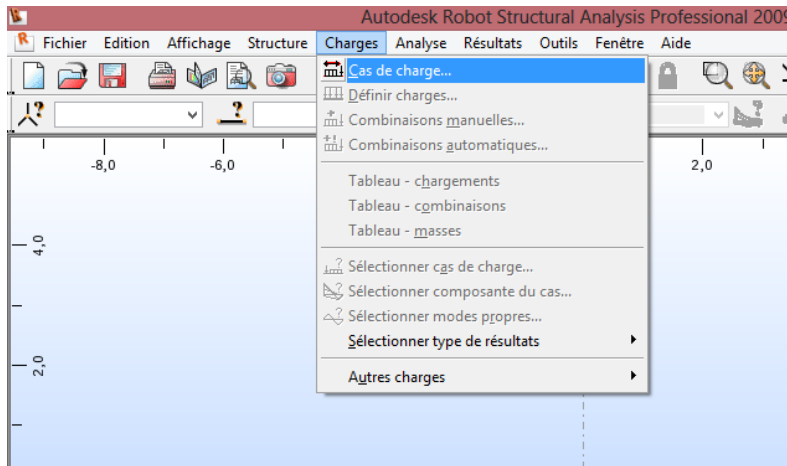


Choisissez la section (Poutre 35x65), puis définissez la matière de la section (BETON 25) dans la case (Matériau), ensuite cliquez sur le bouton (Appliquer).

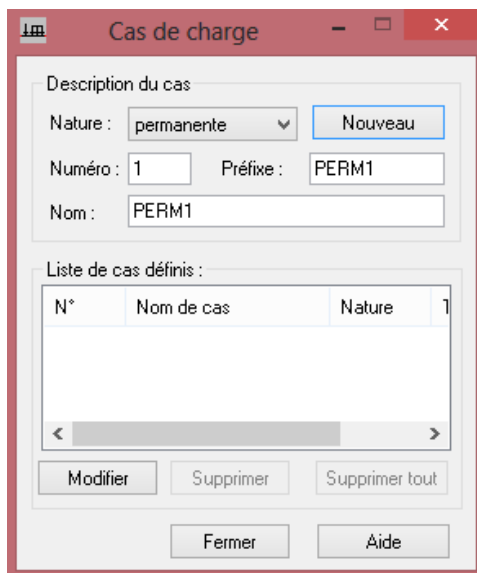
### 3.3.5. Définition des cas charges et combinaisons d'actions:

#### 3.3.5.1. Définition des charges :

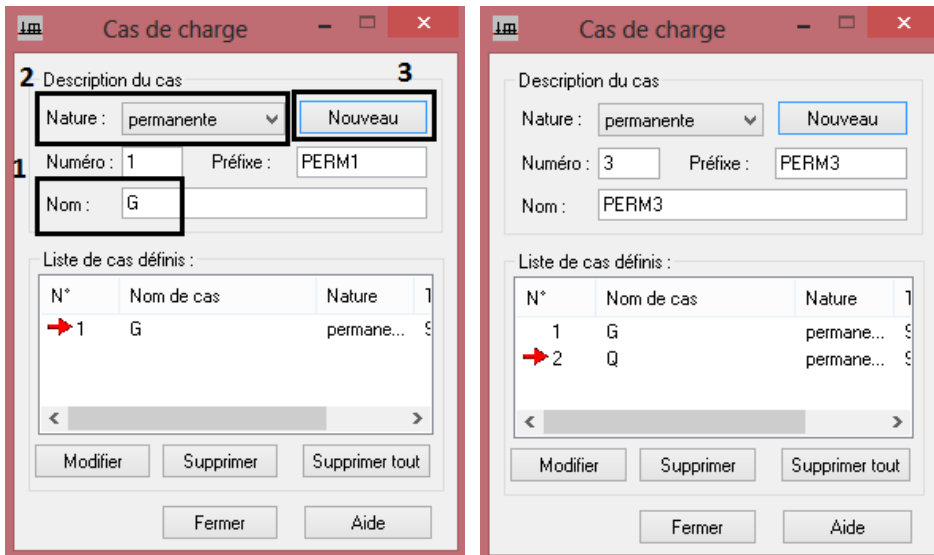
En cliquant sur l'instruction (Cas de charge) sur la droite de l'écran principal du logiciel, ou en allant sur la liste (Charges) et en choisissant (Cas de charge), comme le montre la figure :



La fenêtre de définition des types de charges apparaît comme suit :



Tapez le nom du cas de charge dans la case (Nom), puis choisissez son type dans la case (Nature) (permanente, d'exploitation, vent, neige, sismique....) puis cliquez sur le bouton (Nouveau), le cas de charge est alors ajouté. L'opération est alors répétée pour chaque cas de charge séparément, jusqu'à ce que tous les cas de charges soient insérés, comme le montre la figure :

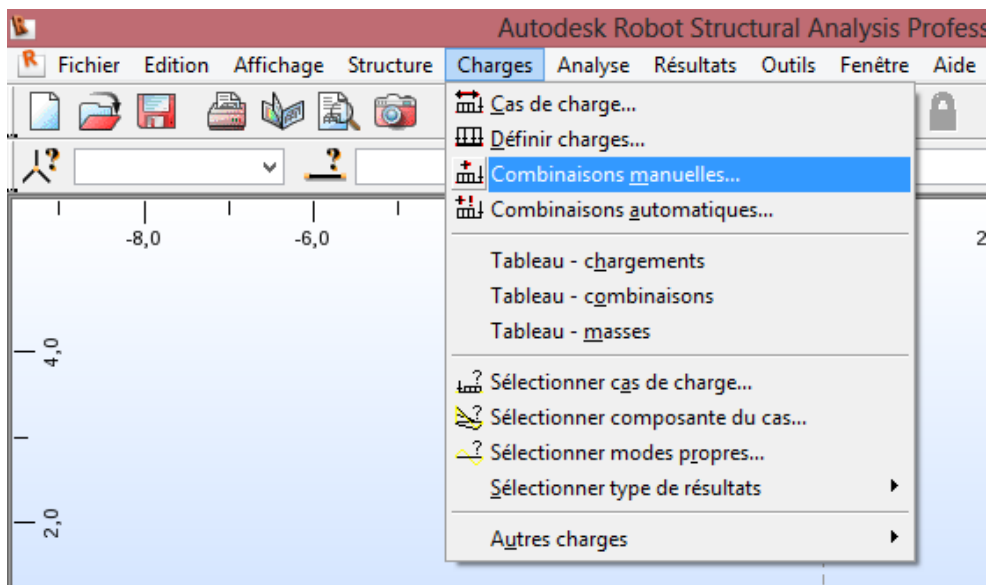


Dans le cas de notre exemple, nous avons ajouté deux cas de charge, l'un d'eux pour les charges permanentes, et l'autre pour les charges d'exploitation.

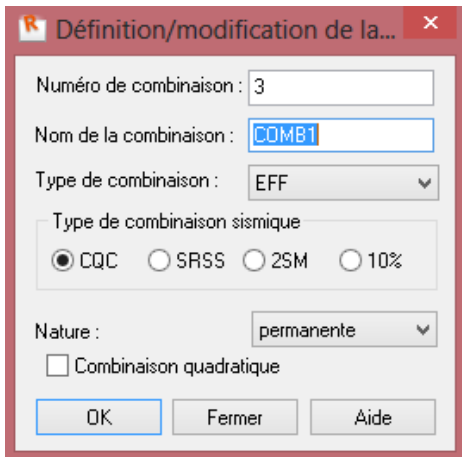
On remarque que le logiciel définit le poids propre de la structure dans la première charge permanente.

### 3.3.5.2. Définition des combinaisons d'actions :

Pour définir les combinaisons d'actions dont nous aurons besoins pour l'analyse et la conception, on va sur la liste (Charges) puis on choisit (Combinaisons manuelles...), comme le montre la figure suivante :

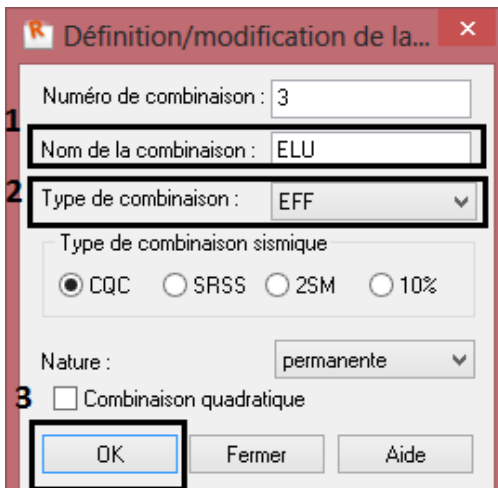


La fenêtre de définition des cas de charge apparaît alors comme suit :



On remarque dans cette fenêtre que dans la case (Numéro de combinaison) est écrit le numéro 3 pour signifier que ce cas de charge est le cas numéro 3, car nous avons défini deux cas de charge auparavant, le premier pour charges permanentes (G), et l'autre pour les charges d'exploitation (Q).

On insère le nom du cas de charge dans la case (Nom de la combinaison), la fenêtre suivante apparaît alors :

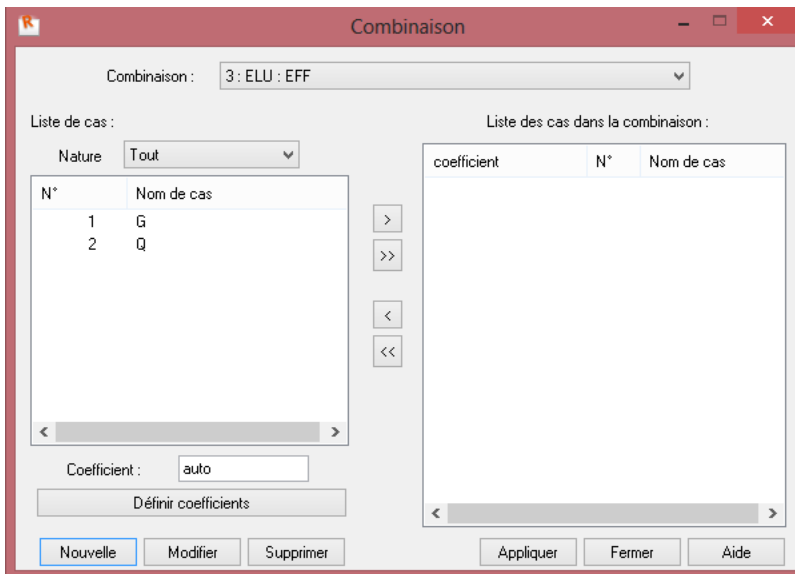


Dans le cas de notre exemple, on définit deux cas de charge selon le code algérien (RPA).

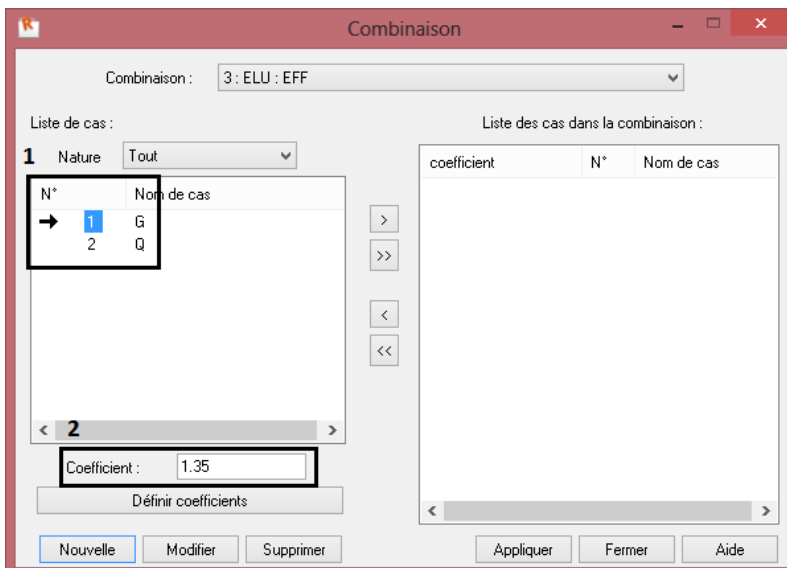
$$1 : ELU = 1.35 G + 1.5Q$$

$$2 : ELS = G + Q$$

On définit le cas de charge ELU en tapant le nom du cas de charge dans la case (Nom de la combinaison), puis on choisit le type de cas de charge dans la case (Type de combinaison), et on clique sur le bouton (OK). Une nouvelle fenêtre apparaît alors pour définir le cas de charge, comme suit :

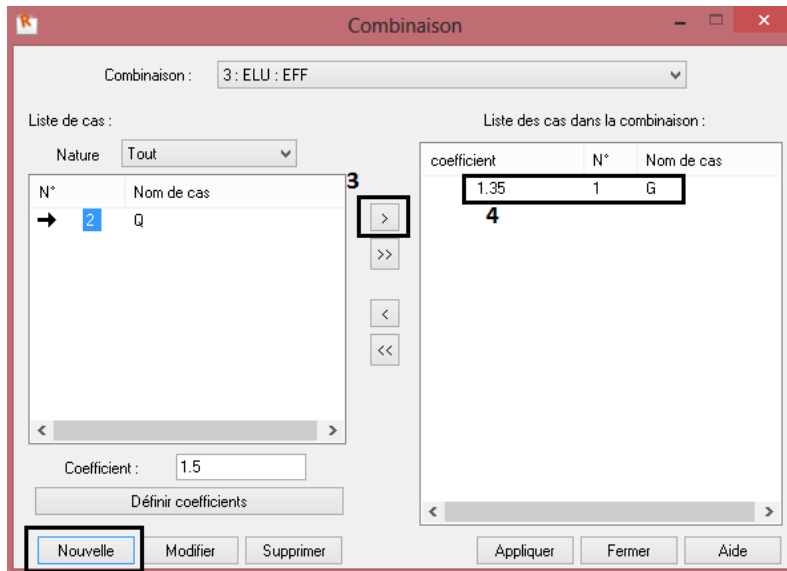


Maintenant, choisissez le type de charge à ajouter au cas de charge en cliquant sur le numéro de charge, comme le montre le numéro (1) dans la figure suivante :



Dans le numéro (2) on insère la valeur du coefficient de charge dans la case (Factor).

On clique sur le bouton représenté par le numéro (3) pour appliquer le coefficient à la charge, selon la figure suivante :



Remarque : De la même façon, on ajoute la charge (Q).

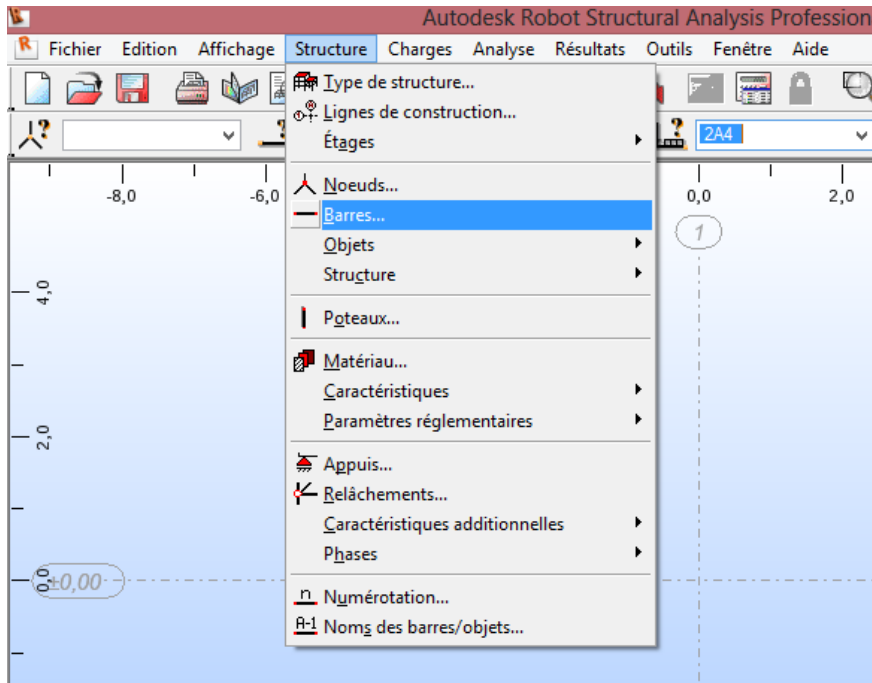
On remarque aussi que le bouton (Nouvelle) est utilisé pour définir un nouveau cas de charge, sans quitter la fenêtre.

### 3.4. Deuxième étape :

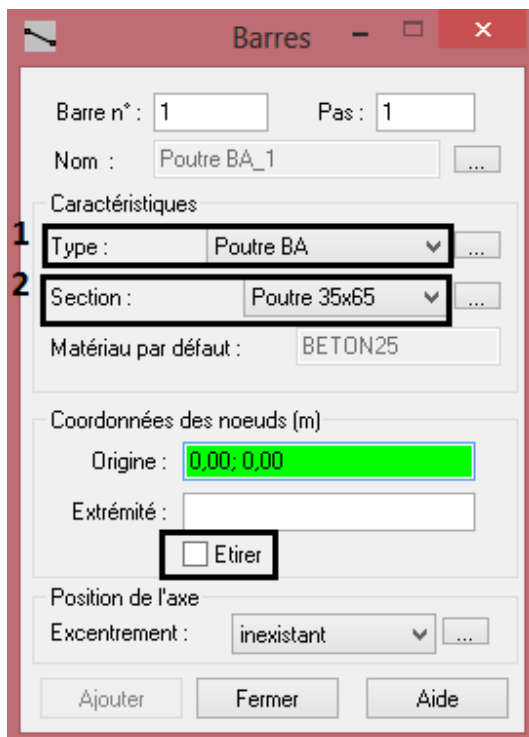
#### 3.4.1. Dessin des éléments barres.

Il existe plusieurs méthodes pour dessiner un élément barre. Nous allons choisir la méthode générale pour le faire.

Pour dessiner un élément barre, quel qu'en soit le type, nous allons dans la liste (Structure), puis nous choisissons (Barres), comme le montre la figure.



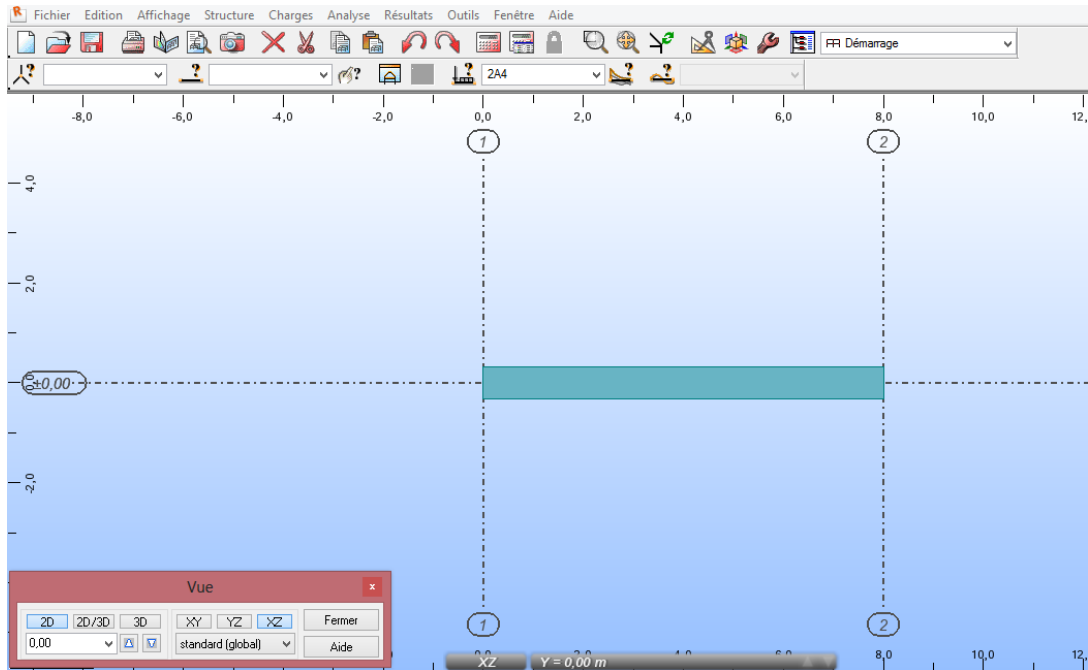
La fenêtre suivante apparaît alors :



On clique sur la case (Type) et on y choisit le type de section à dessiner, qui est (Poutre BA) qu'on a préalablement défini.

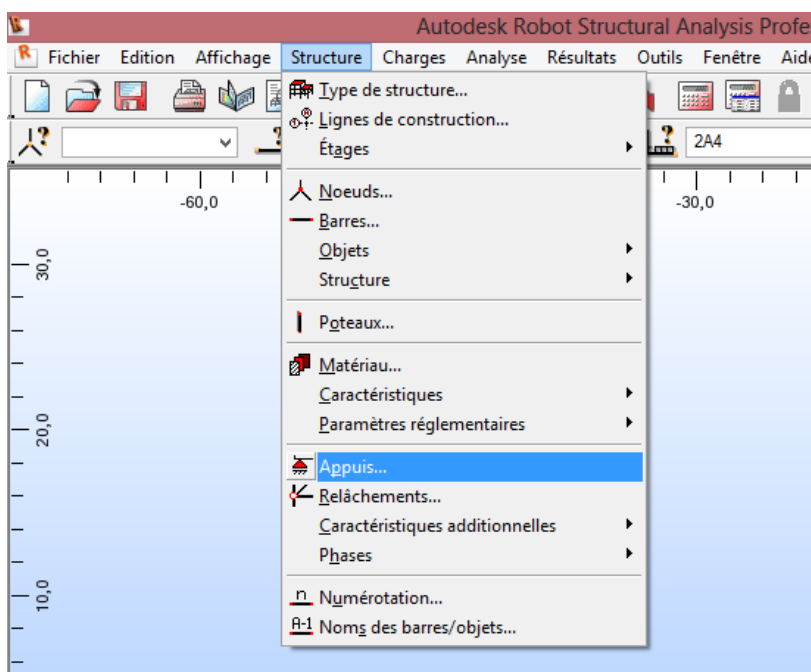
Dessinez la poutre en cliquant sur ses points de début et de fin sur les axes que vous avez définis.

Remarquez que l'option (Etirer) est utilisée dans le dessin de poutres enchainées, en sorte que le point de début de la nouvelle poutre est lui-même le point de fin de la précédente poutre.



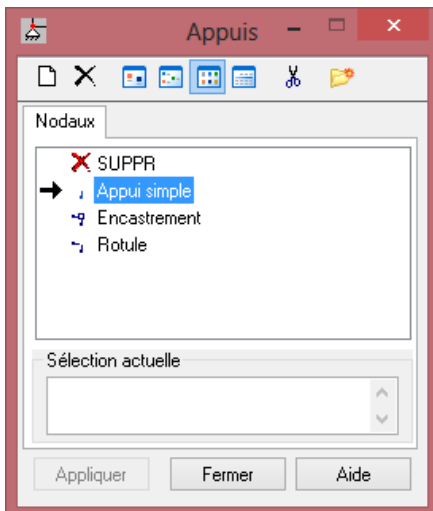
### 3.4.2. Définition des appuis.

On définit maintenant le type d'appui pour les nœuds situés en dessous de la poutre. Les nœuds destinés à recevoir les appuis sont définis en cliquant sur la souris et en tirant sur le nœud situé en dessous de la poutre, puis on clique sur l'instruction (Appuis) sur la droite de l'écran, ou en allant sur la liste (Structure) puis on choisit (Appuis), comme le montre la figure suivante :



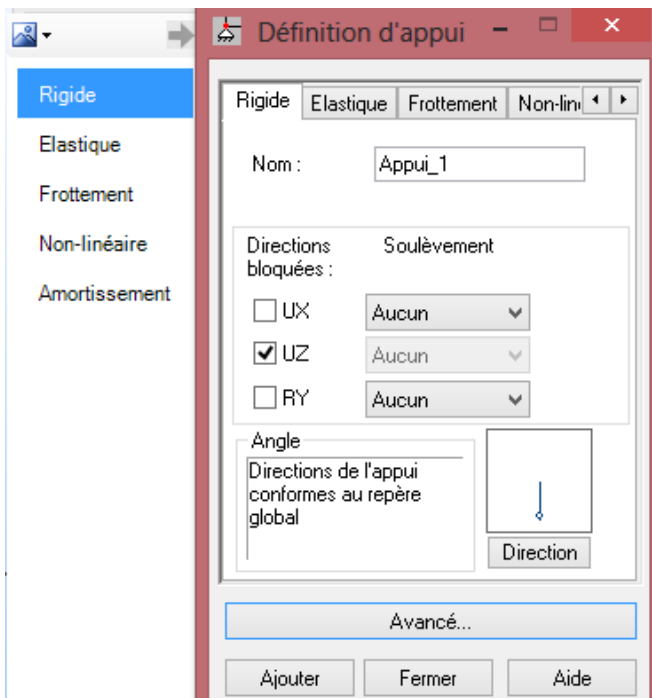


La fenêtre suivante apparaît alors :



Cette fenêtre comporte trois types d'appuis définis virtuellement par le logiciel (Appui simple, Appui double et Encastrement).

Pour définir un nouvel appui, on clique sur l'icône (Nouveau), l'écran suivant apparaît alors :



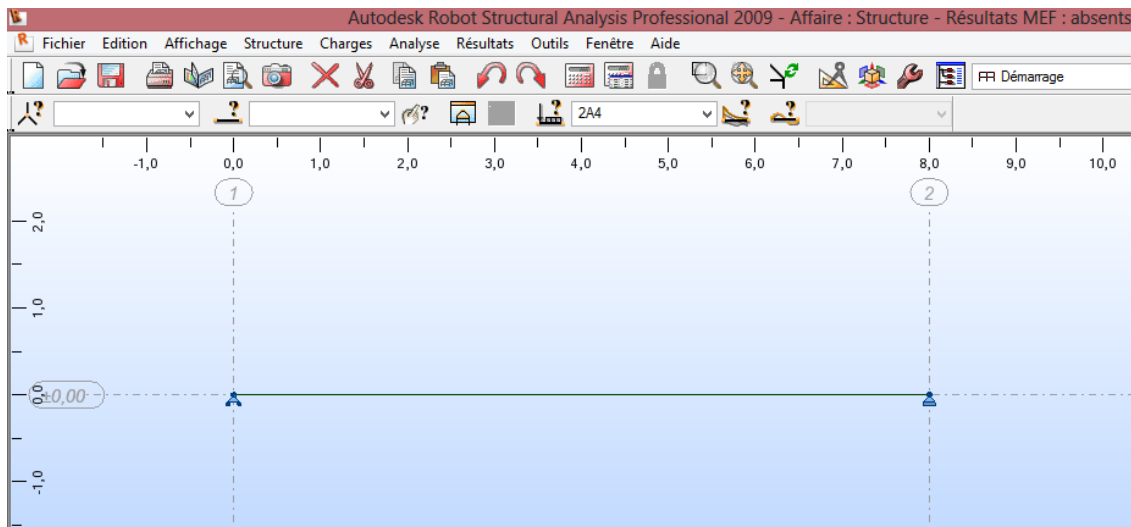
A travers la section (Rigide), on peut attribuer un nom au type d'appui qu'on choisit dans la fenêtre (Nom) (par exemple : Appui\_1) et on fixe le mouvement du nœud des déplacements ou rotations par le biais de (Directions bloquées).

On définit le support en fixant les mouvements adéquats, de façon que :

- UX : le mouvement en direction de l'axe X.
- UY : le mouvement en direction de l'axe Y.
- UZ : le mouvement en direction de l'axe Z.
- RX : la rotation autour de l'axe X.
- RY : la rotation autour de l'axe Y.
- RZ : la rotation autour de l'axe Z.

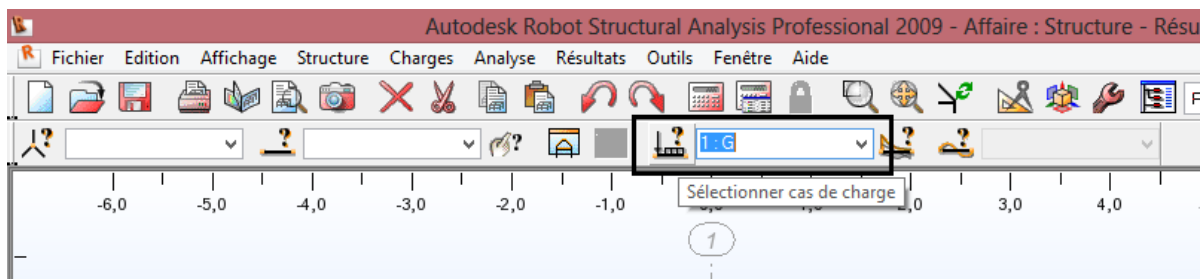
Remarquez que les mouvements qui apparaissent dans la fenêtre (Définition d'appui) sont les mouvements relatifs au cadre bidimensionnel (2D) que vous avez choisi au début de la solution. Mais si vous avez choisi un modèle tridimensionnel, les six mouvements complets apparaîtront.

Dans notre exemple, nous choisirons le premier nœud dans les dimensions (Axe 1), type d'appui simple. Et dans le deuxième nœud (Axe 2) nous choisirons un appui double, comme le montre la figure suivante :

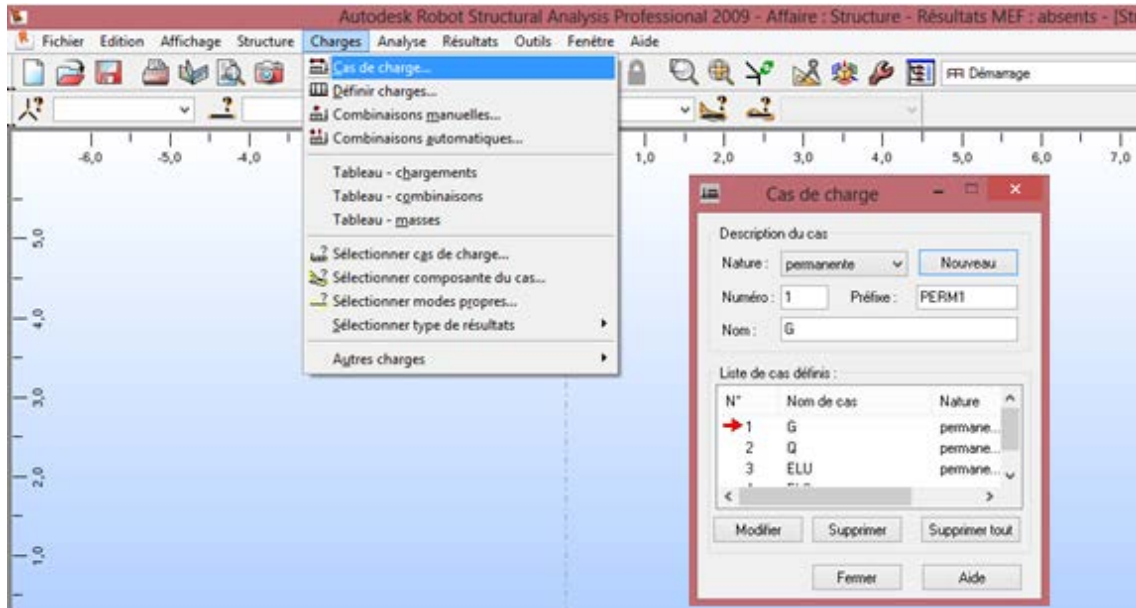


### 3.4.3. Attribution des charges :

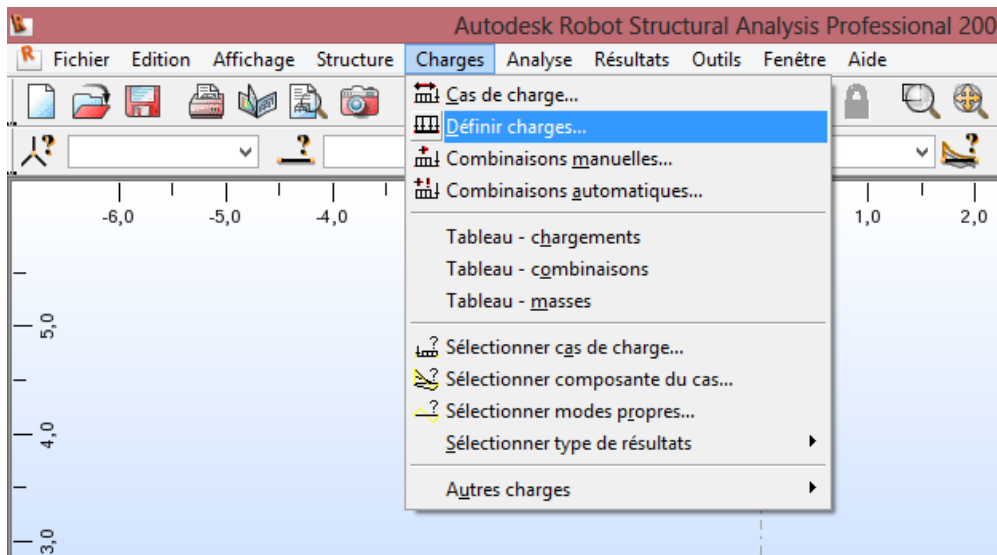
Après avoir défini les types de charges (Cas de charge) dans les étapes précédentes, on choisit maintenant le type de charge à travers (Sélectionner cas de charge), comme le montre la figure.



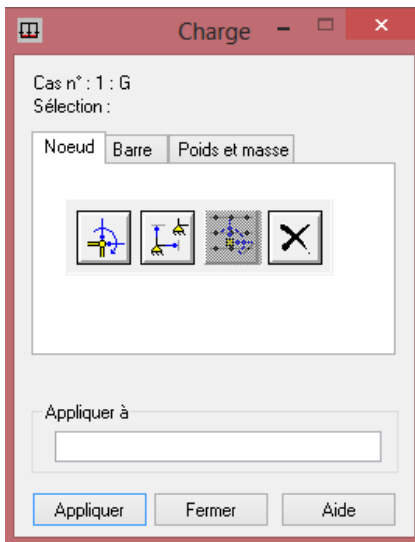
Ou en allant sur la liste (Charges) où on choisit (Cas de charge). Une nouvelle fenêtre apparaît alors, où on choisit le type de charge.



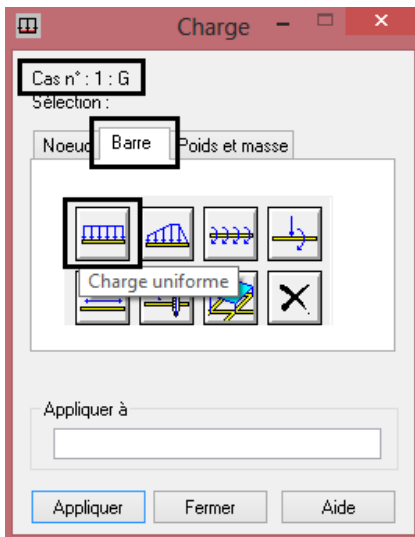
Définissez la charge en allant sur la liste (Charges) puis choisissez (Définir charges...). Voir figure.



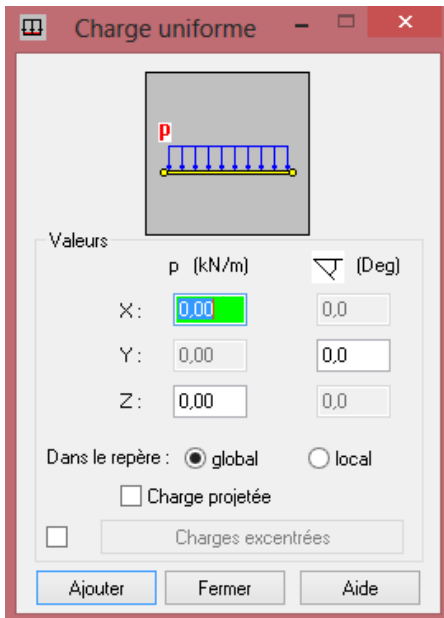
La fenêtre suivante apparaît alors :



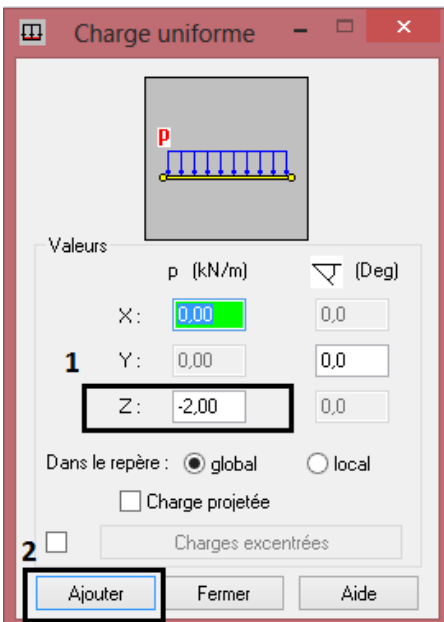
On va sur la liste (Barre) où on choisit (Charge uniforme) pour définir la charge uniformément répartie. Voir figure ci-dessous.



La fenêtre suivante apparaît alors :

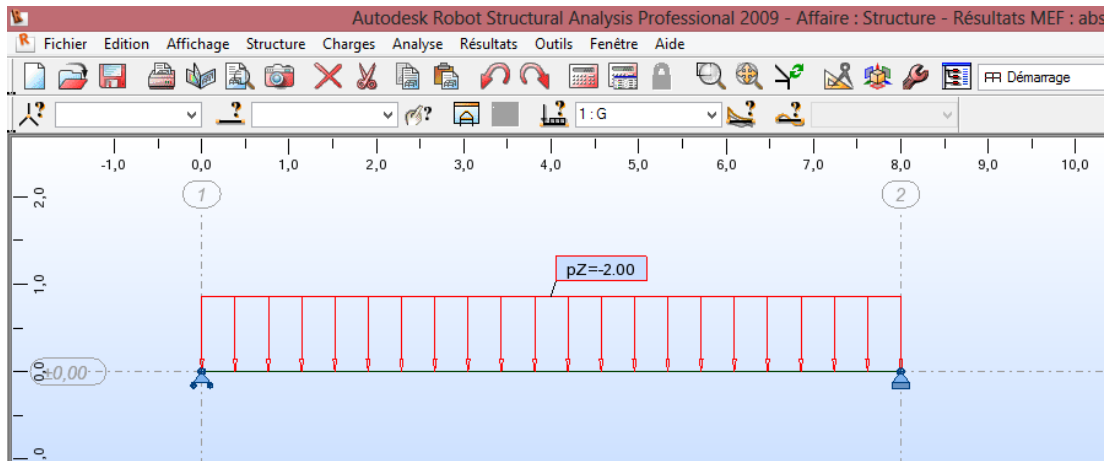


Insérez la valeur négative de la charge répartie (la valeur négative signifie que la charge est appliquée dans le sens contraire à l'axe, le cas échéant vers le bas). Voir figure ci-dessous.



Ensuite, on clique sur le bouton (Ajouter), puis à l'aide de la souris on choisit l'élément à charger, et on ferme la fenêtre (Définir charge).

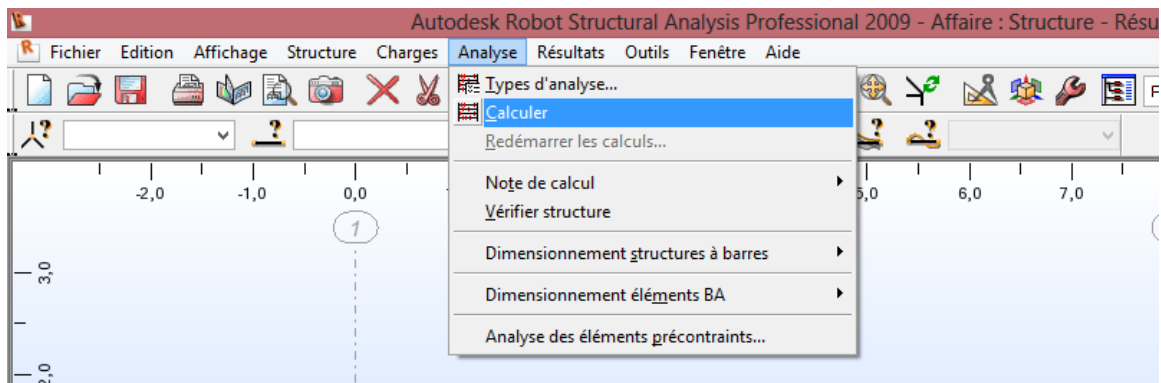
On répète l'opération de charge des différents types de charges de la même manière précédente.



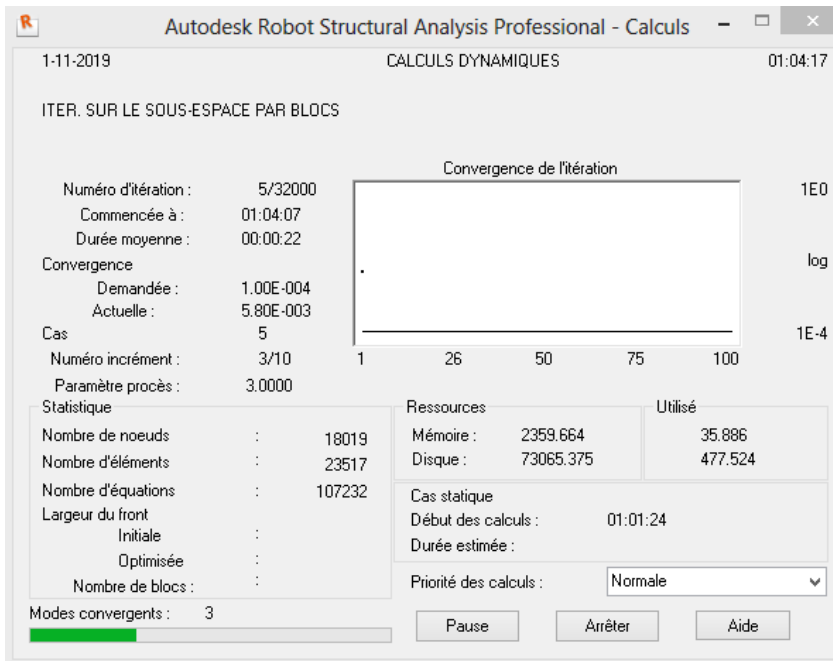
### 3.5. Troisième étape :

#### 3.5.1. Solution et analyse de la structure.

Pour analyser la structure, nous allons sur la liste (Analyse) où on choisit (calculer), comme le montre la figure.

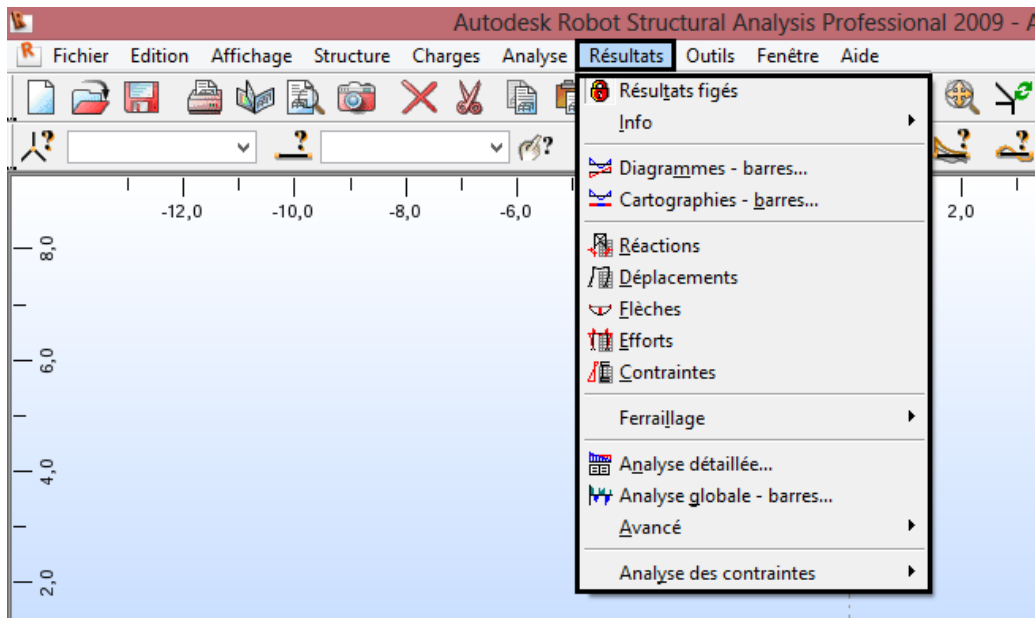


Le logiciel procède alors à l'analyse. Un peu plus tard, apparait la fenêtre suivante :



### 3.5.2. Exposition des résultats de l'analyse.

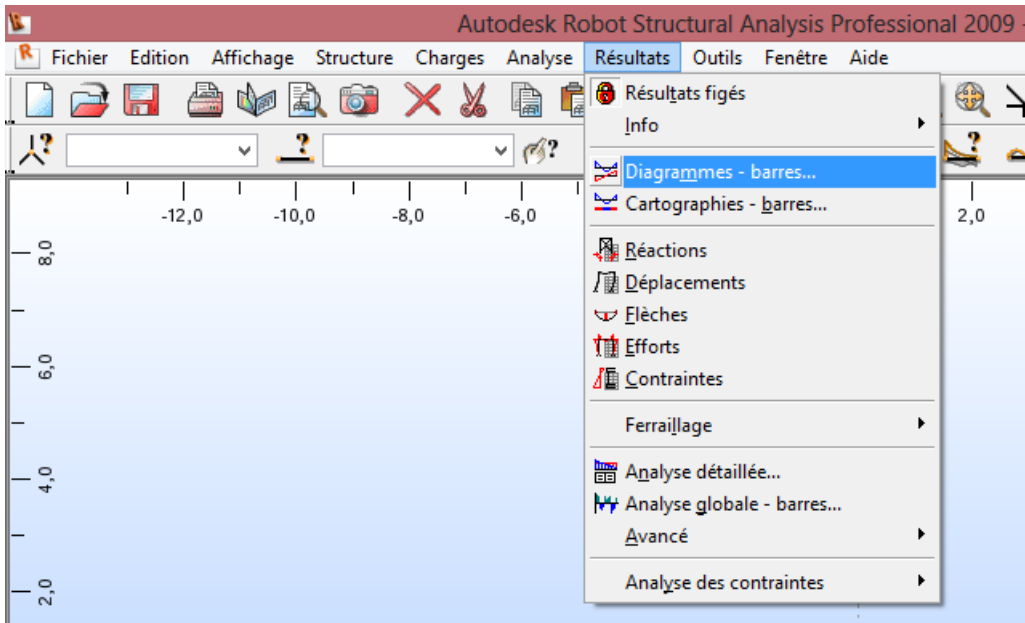
Les résultats sont exposés à travers la liste (Résultats), suivant la figure.



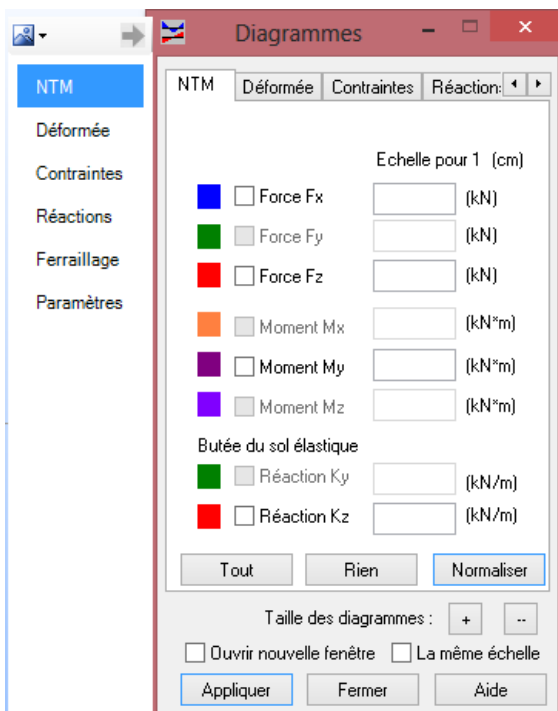
Les résultats peuvent être exposés soit graphiquement ou textuellement dans un tableau, comme suit :

### 3.5.2.1. Exposition des résultats graphiquement :

On va sur la liste (Résultats) et on choisit (Diagrammes - barres), comme suit :



La fenêtre suivante apparaît alors :



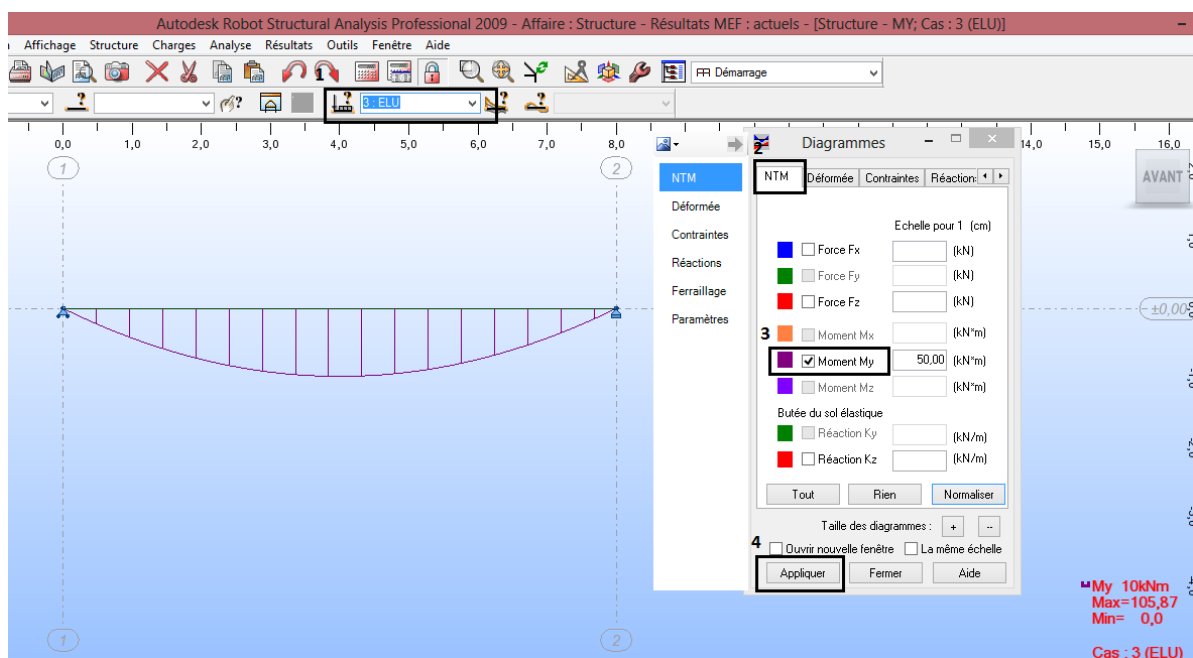
Cette fenêtre comporte les six sections suivantes :



- **NTM** : à travers cette section, on peut afficher la répartition de l'effort normal, l'effet de tranchant, le moment de flexion, la torsion.
- **Déformée** : pour afficher la forme de (déplacement) et pour faire une animation du mouvement de la structure.
- **Contraintes** : pour afficher la répartition des contraintes sur le long de l'élément.
- **Réactions** : pour afficher les réactions.
- **Ferrailage** : pour afficher la densité de ferrailage, le ferrailage effectif et le ferrailage demandé, ainsi que le taux de ferrailage sur le long de l'élément.
- **Paramètres** : pour commander la méthode d'affichage des courbes en matière de couleur, de forme, et de valeurs exposées.

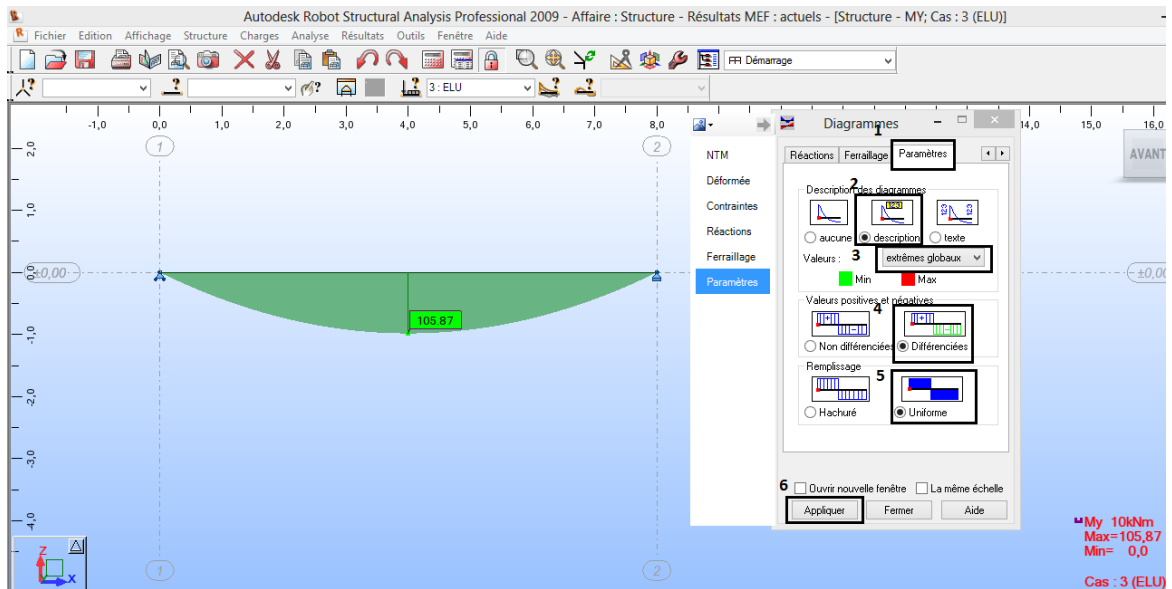
### 3.5.2.2. Affichage de la courbe des moments fléchissant :

Pour afficher la courbe du moment de flexion, choisissez le cas de charge (ELU) dans la barre (Sélectionner cas de charge), puis allez dans la section (NTM), et choisissez (Moment My), et appuyez ensuite sur le bouton (Appliquer). Voir figure.



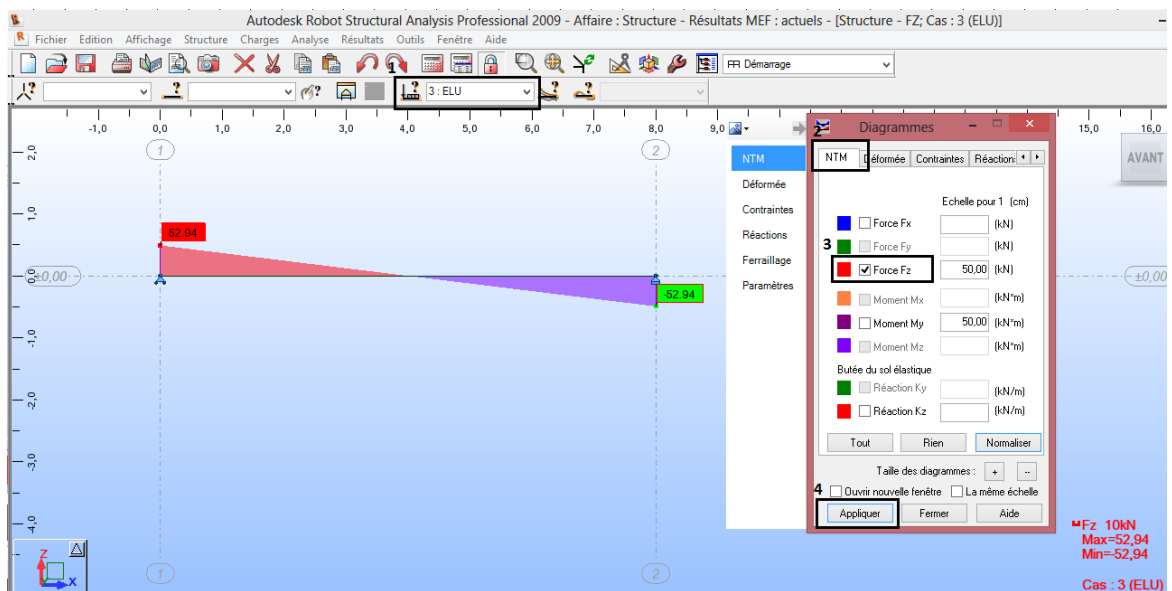
On remarque que la courbe du moment de flexion est apparue sans aucune valeur écrite dessus, avec l'affichage du cas de charge et de la valeur maximale et minimale de flexion en bas de l'écran. Pour modifier la forme de la courbe, et faire apparaître les valeurs dessus, allez dans la section (Paramètres).

Après réglage des paramètres, nous obtenons une nouvelle forme de courbe, selon la figure ci-dessous.



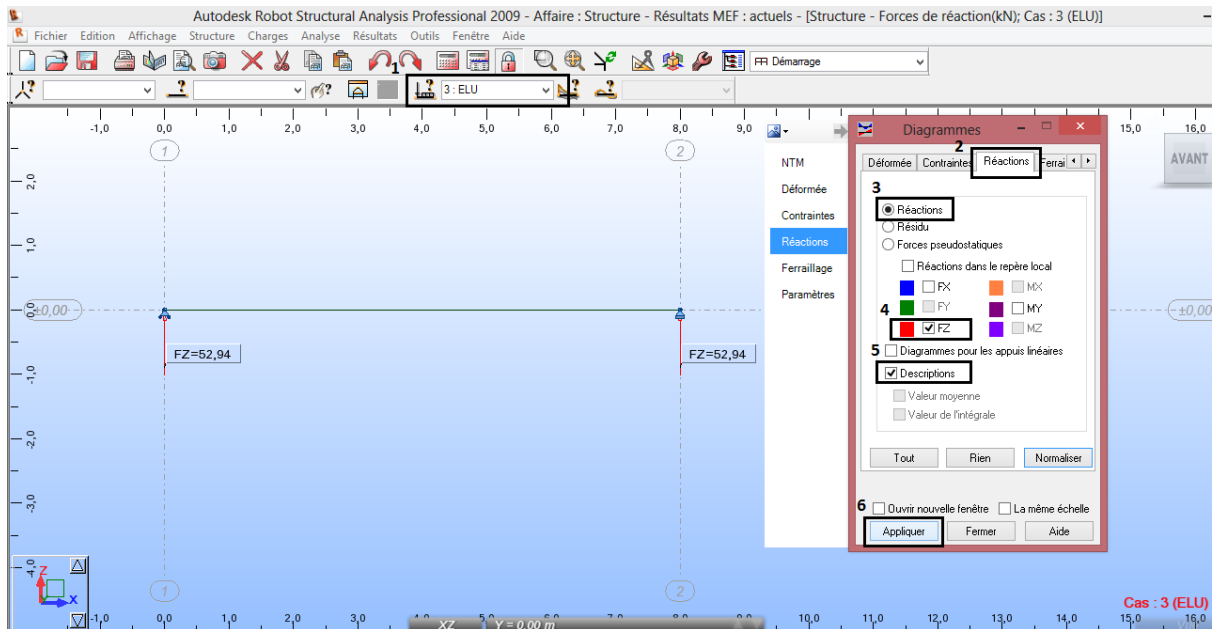
### 3.5.2.3. Affichage de la courbe de l'effort tranchant :

En allant sur la section (NTM), on choisit (Force Fz), puis on clique sur le bouton (Appliquer), comme suit :



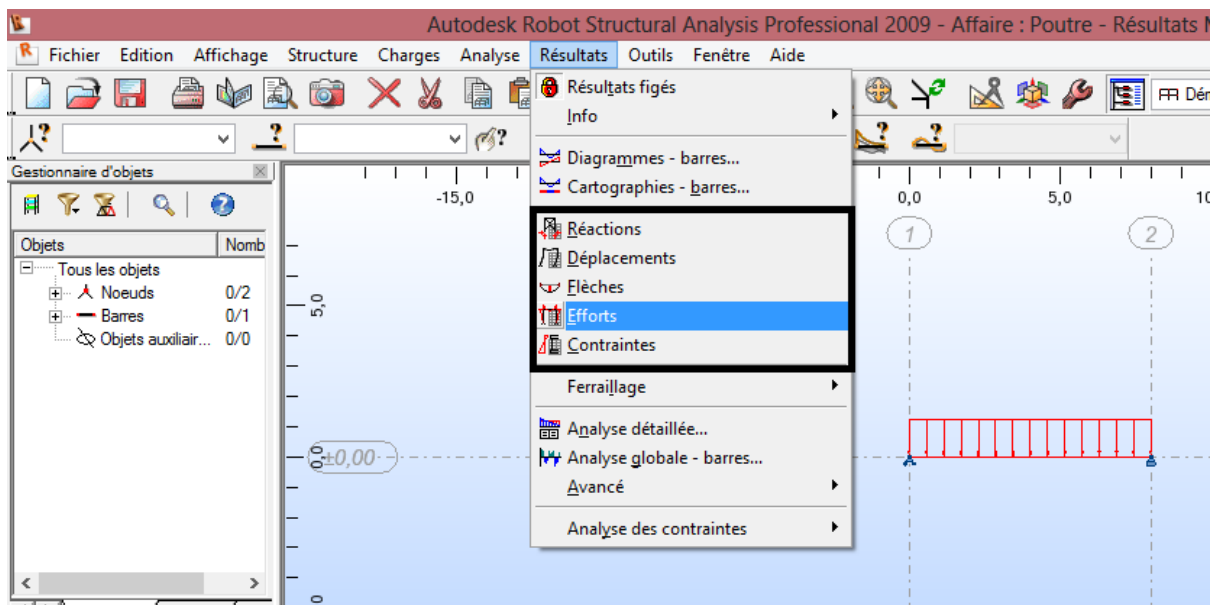
### 3.5.2.4. Affichage des réactions :

Pour afficher les réactions, allez dans la section (Réactions), puis choisissez (Fz) pour afficher les réactions existantes, ensuite choisissez (Descriptions) pour afficher les valeurs de réactions sur les flèches, et cliquez sur (Appliquer), comme suit.

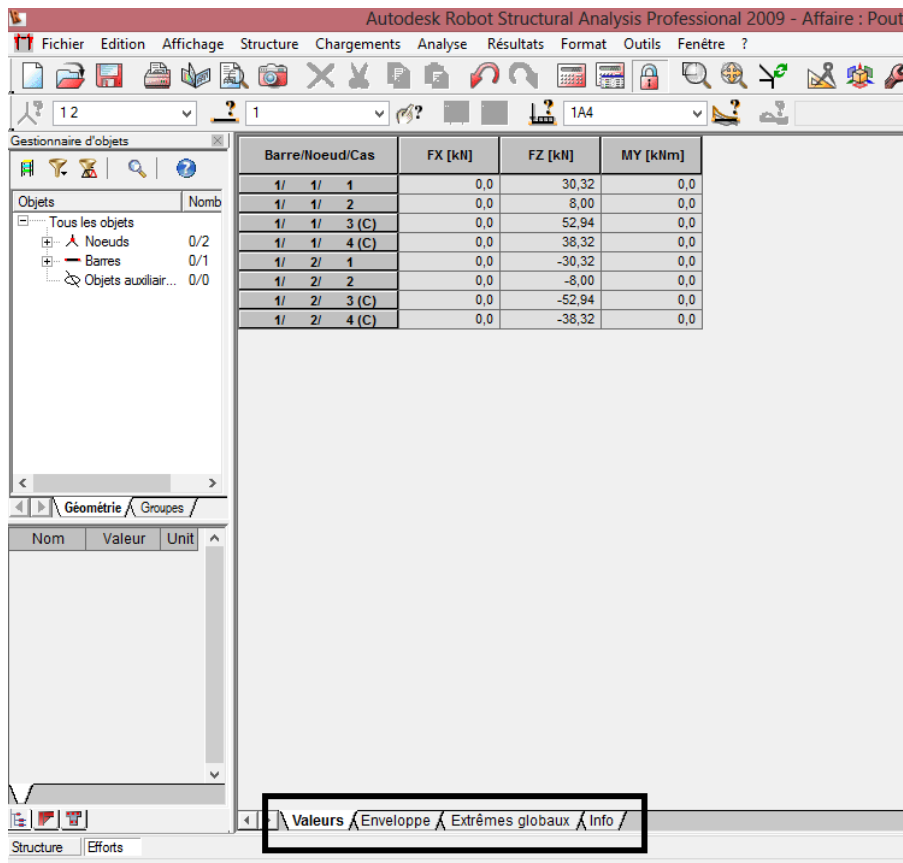


3.5.2.5. Affichage des résultats textuellement dans un tableau :

Les résultats de l'analyse sont affichés en tableaux dans les sections suivantes.



La fenêtre suivante comprenant un tableau et ouverte dans la section (Value) et comprenant trois autres sections, comme suit:



- La section (Valeurs) : affiche les valeurs des résultats de toutes les charges et des cas de charges.
- La section (Enveloppe) : affiche les valeurs maximales des différents cas de charge (maximum-maximum diagramme)
- La section (Extrêmes globaux) : affiche les charges maximales (le cas maximal et minimal).
- La section (Info) : affiche le nombre de charges et des cas de charges dont les résultats sont affichés, ainsi que le nombre de points et d'éléments de la structure.

## Références Bibliographiques

- [01] Ahmed elsayed ahmed ali (2009): Philosophie de conception des structures en béton. Alexandrie : Université d’Alexandrie, Vol.8.
- [02] Université de Toulouse III : Initiation à Robot Structural Analysis. Toulouse : (2017), p. 01-03.
- [03] B. YOUNS (2016): Modélisation de structure sur logiciel CBS Pro–ROBOT BAT: Algérie : p.14.
- [04] Abdellaoui Med Lamine (2016): Exercice pratique pour nouveaux utilisateurs du logiciel Robot. Rouiba : Institut Supérieur de formation en bâtiment, p. 06.