

3 – L'ANALYSE POUSSEE PROGRESSIVE OU PUSHOVER

3.1 Principes :

L'analyse pushover est une analyse statique non-linéaire de la structure permettant de présenter de façon simplifiée le comportement de la structure sous l'effet de différents types de charges dues au séisme.

Dans la présente version du logiciel, voici les quelques remarques :

- toutes les propriétés non-linéaires qui définissent l'endommagement éventuel de la structure sous l'effet des forces dues au séisme sont données dans des rotules plastiques. Les autres types de non-linéarités (forces longitudinales, analyse P-Delta, barres en traction/compression seule, etc.) peuvent être pris en compte par les rotules non-linéaires,
- les rotules non-linéaires peuvent être utilisées uniquement dans les structures de type portique (barres) ; elles ne sont pas prises en compte dans les éléments de structure comme : plaques, coques, solides.
- les rotules non-linéaires sont traitées en tant que liaisons non-linéaires indépendants pour chaque degré de liberté dans le nœud sélectionné. L'interaction entre différents degrés de liberté est négligée.
- la position de la rotule non-linéaire est définie par l'utilisateur.

3.2 Exemple :

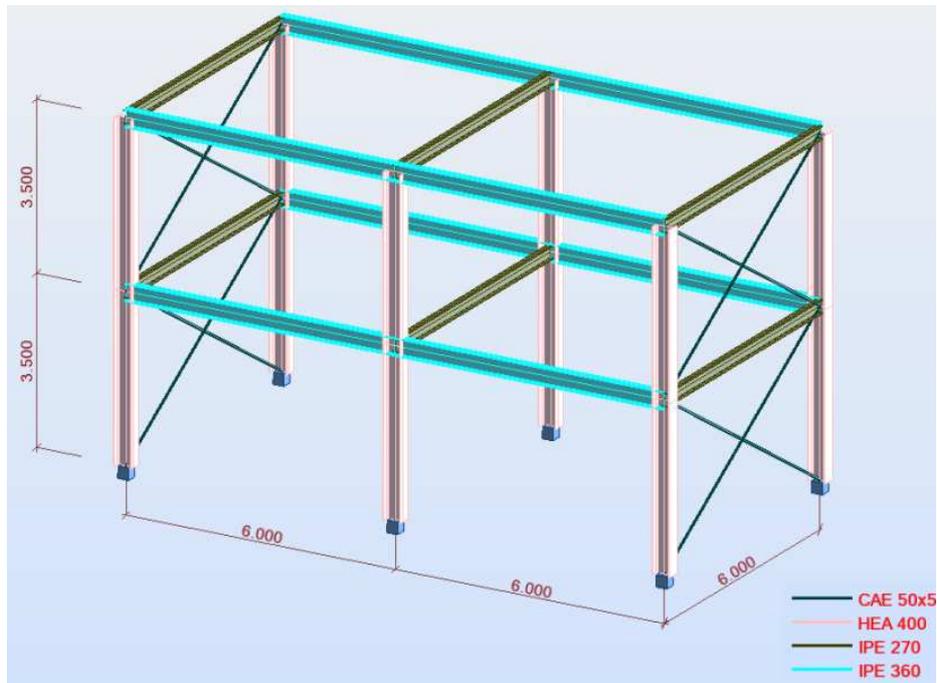


Figure 29 : Pushover : Exemple
Fichier : PushOverBAse.rtd

Il s'agit d'une structure composée de portiques dans les deux sens horizontaux (voir dimensions et sections sur le schéma ci-dessus).

3.3 Création de l'analyse Pushover :

3.3.1 Déclaration des barres de contreventement en barre de type treillis :

Dans le menu déroulant « Structure \ Caractéristiques additionnelles \ Caractéristiques avancées-barres... » :

- sélectionné uniquement l'option « barres de treillis... »,
- indiqué les barres 7 à 10, 61 à 64,
- cliquer sur le bouton « Appliquer ».

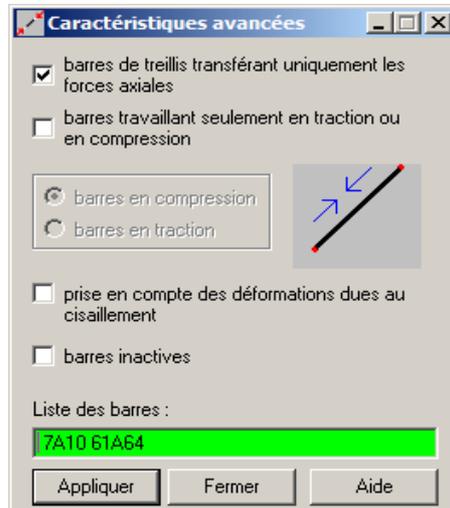


Figure 30 : Pushover : affectation des barres treillis

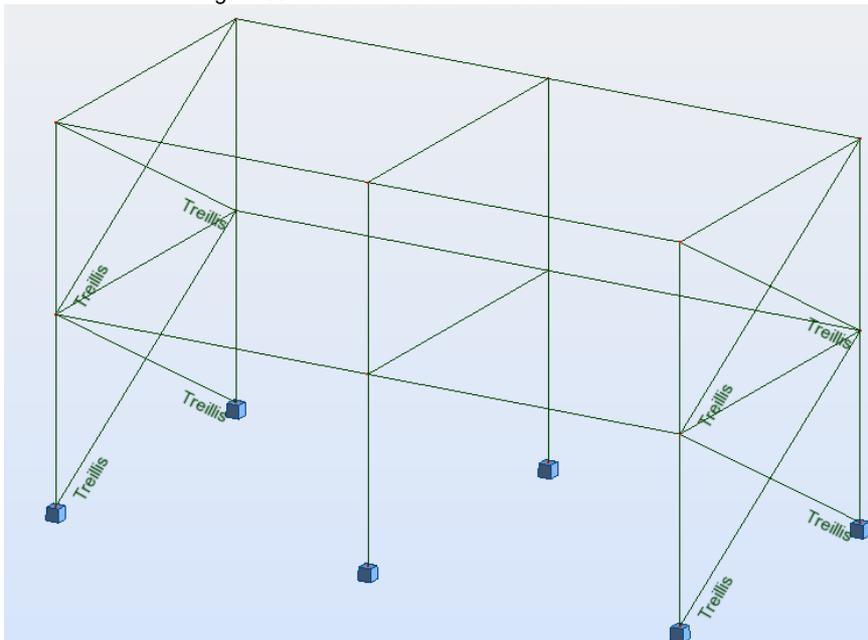


Figure 31 : Pushover : résultats après affectation des barres treillis

3.3.2 Déclaration de cas de charges :

Dans le bureau « *Chargements* », dans la fenêtre « *Cas de charges* » :

- Donner le nom « *Poids propre* » dans le champ « *Nom* »,
- Cliquer sur le bouton « *Ajouter* ».

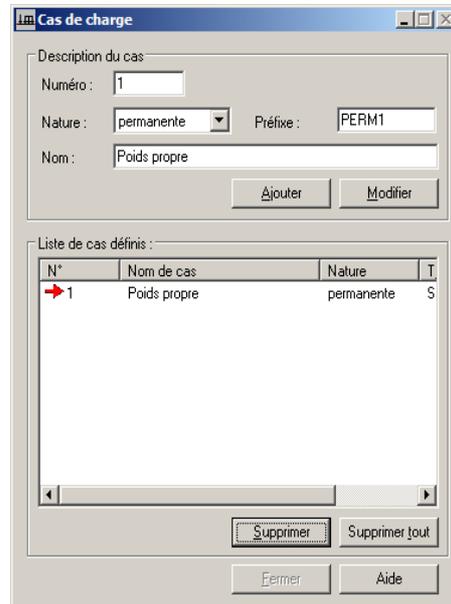


Figure 32 : Pushover : création du cas poids propre

Nota : dans le tableau de chargement, le poids propre est automatiquement affecté à toutes les barres de la structure.

3.3.3 Déclaration de l'analyse modale :

Dans le menu déroulant « *Analyse \ Types d'analyses...* » dans la fenêtre « *Options de calcul* »,

- cliquer sur le bouton « *Nouveau* »,
- sélectionner l'analyse « *Modale* »,
- cliquer sur le bouton « *OK* »,
- Une fois dans la fenêtre « *Paramètres de l'analyse modale* », cliquer sur le bouton « *OK* » (le but n'étant pas d'expliquer les paramètres de l'analyse modale → voir le livre blanc de l'Eurocode 8).

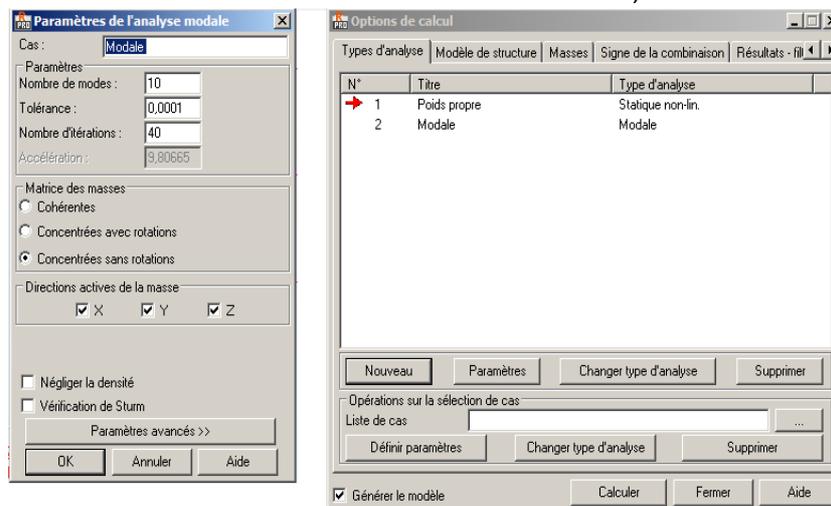


Figure 33 : Pushover : déclaration de l'analyse modale

3.3.4 Déclaration de deux analyses Pushover :

Dans le menu déroulant « *Analyse \ Types d'analyses...* » dans la fenêtre « *Options de calcul* »,

- cliquer sur le bouton « *Nouveau* »,
- sélectionner l'analyse « *Pushover* »,
- cliquer sur le bouton « *OK* »,
- renommer le cas en « *Pushover 1* »,
- dans le champ « *Numéro du nœud* » : « *3* »,
- dans le champ « *Direction* » : « *UX+* »,
- dans le champ « *Déplacement maximal* » : « *200 mm* »,
- sélectionner le bouton radio « *à partir de l'accélération dans la direction voulue* »,
- activer les deux options de l'analyse non-linéaire,
- cliquer sur le bouton « *Paramètres* »,
- dans la fenêtre qui apparait, dans le champ « *Numéro d'incrément de la charge* : » : « *20* »,
- cliquer deux fois sur le bouton « *OK* »,

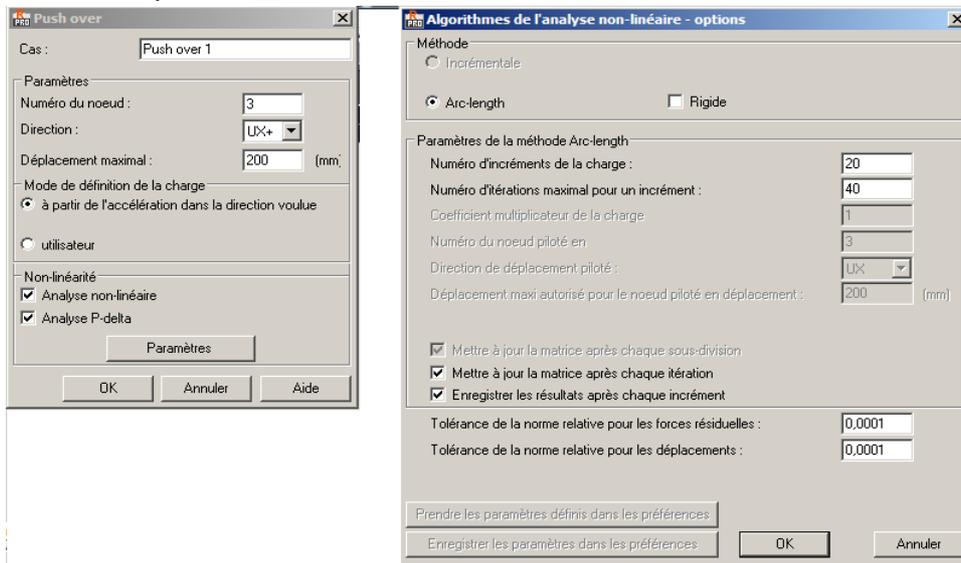


Figure 34 : Pushover : déclaration de l'analyse Pushover

Pour l'exemple, déclarer une deuxième analyse avec les paramètres suivants :

- renommer le cas en « *Pushover 2* »,
- dans le champ « *Numéro du nœud* » : « *27* »,
- dans le champ « *Direction* » : « *UY+* »,
- dans le champ « *Déplacement maximal* » : « *300 mm* »,
- sélectionner le bouton radio « *à partir de l'accélération dans la direction voulue* »,
- activer les deux options de l'analyse non-linéaire,
- cliquer deux fois sur le bouton « *OK* »,

Atelier : L'EUROCODE 8 ou le calcul sismique

3.3.5 Déclaration des masses ajoutées à l'analyse modale :

Dans le bureau « *Chargements* »,

- sélectionner dans la fenêtre déroulante le cas n°2 « 2 : *Modale* »,
- cliquer sur l'icône « *Charges* »,
- dans l'onglet « *Poids et Masse* », cliquer sur le bouton « *Masse modale* »,
- dans les champs « *Fx* », « *Fy* », « *Fz* », la valeur 10 000 kG,
- cliquer sur l'onglet « *Ajouter* »,
- dans le champ « *Appliquer à* », la valeur « *tout* »,
- cliquer dans le champ « *Appliquer* ».

Nota : vous pouvez vérifier que dans le tableau « des masses », que celles-ci ont bien été créées.

Cas	Poids	Liste	Valeur										
globales:	force nodale (M)	1A70	FX=10000,00	FY=10000,00	FZ=10000,00	CX=0,0	CY=0,0	CZ=0,0	AL=0,0	BE=0,0	GA=0,0	MEMO :	

Figure 35 : Pushover : tableau des masses

3.3.6 Déclaration des rotules non-linéaires :

Dans le menu déroulant « *Structure \ Caractéristiques additionnelles \ Rotules non-linéaires...* » :

- cliquer sur le bouton « *Nouvelle rotule non-linéaire* »,
- dans les champs « *Nom* », renommer la rotule non-linéaire en « *Moment My* »,
- cliquer sur le bouton « *Définition du modèle de rotule* »,
- dans l'onglet « *Fonction* »,
- dans les champs « *Nom du modèle* », mettre « *Moment My* »,
- dans l'onglet « *Points* »,
 - o en « *B* » : « *X* » = 0,6 ; « *Y* » = 50 ,
 - o en « *C* » : « *X* » = 2,9 ; « *Y* » = 60 ,
 - o en « *D* » : « *X* » = 2,9 ; « *Y* » = 10 ,
 - o en « *E* » : « *X* » = 5,2 ; « *Y* » = 10 ,
- dans l'onglet « *Paramètres* »,
 - o dans la fenêtre « *Type* », choisir « *moment-rotation* »,
 - o dans le champ « *Début d'exploitation (IO)* » : 0,573,
 - o dans le champ « *Etat d'exploitation sécuritaire (LS)* » : 1,719,
 - o dans le champ « *Etat de dommage (SS)* » : 2,865
 - o « *Mode de décharge* » : « *élastique* »,
- cliquer sur le bouton « *OK* »,
- dans la fenêtre de définition de la rotule, affecter dans le champ « *My* » le type « *Moment My* » (toutes les autres cases à coche doivent être désactivées),
- cliquer sur le bouton « *OK* »,

Atelier : L'EUROCODE 8 ou le calcul sismique

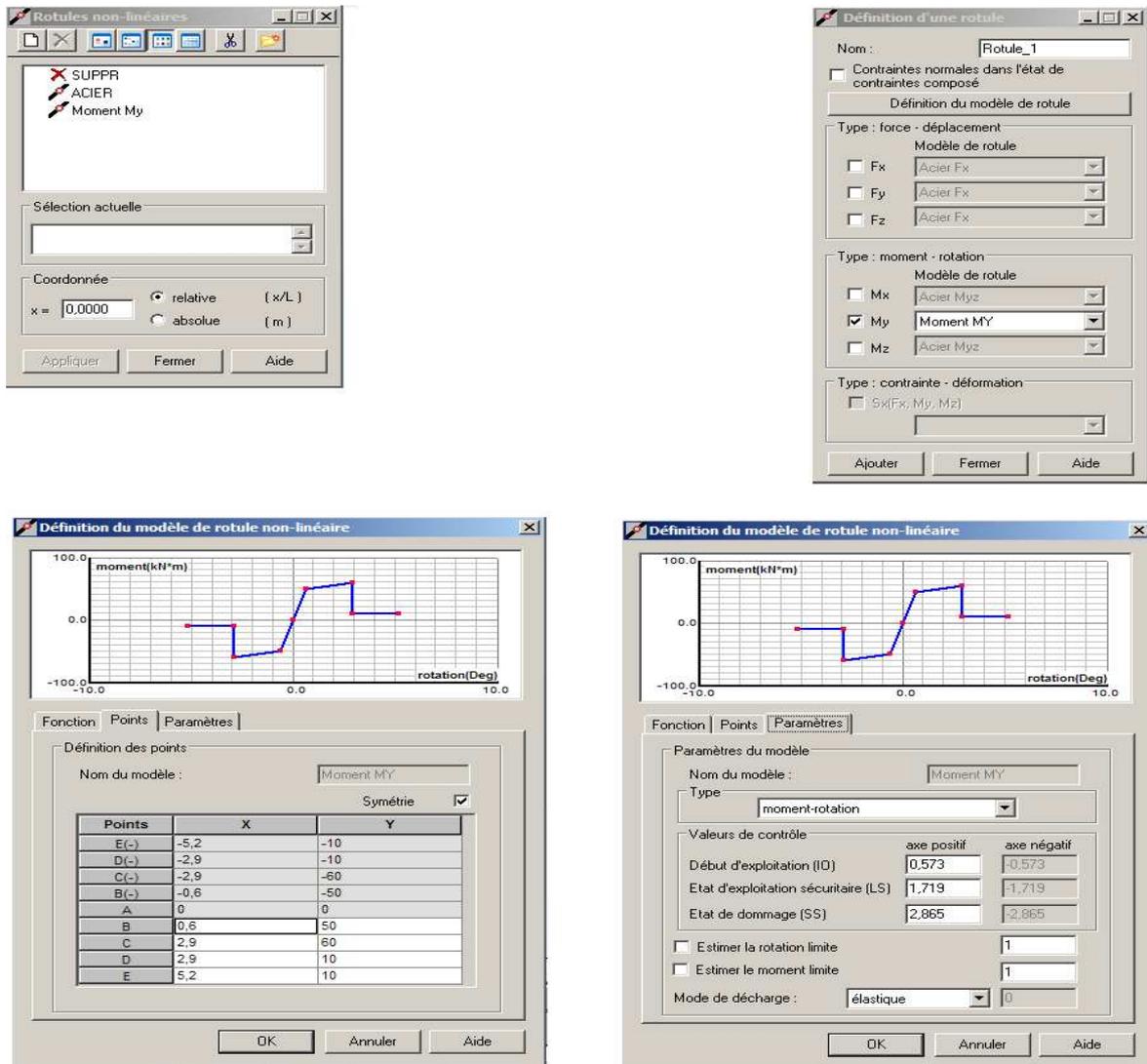


Figure 36 : Pushover : création de rotule non-linéaire

- dans la fenêtre « Rotules non-linéaires »,
 - o dans le champ « Coordonnées », rentrer $x=0,10$ (le bouton radio « relative » est activé,
 - o dans le champ « Sélection actuelle », rentrer la liste suivante :
 - Poteaux : 1 3 49 51 55 57 → cliquer sur “Appliquer”,
 - Traverses : 53 54 65 à 72 → cliquer sur “Appliquer”,
 - o dans le champ « Coordonnées », rentrer $x=0,90$ (le bouton radio « relative » est activé,
 - o dans le champ « Sélection actuelle », rentrer la liste suivante :
 - Traverses : 53 54 65 a 72 → cliquer sur “Appliquer”,
- Fermer la fenêtre.

Résultat :

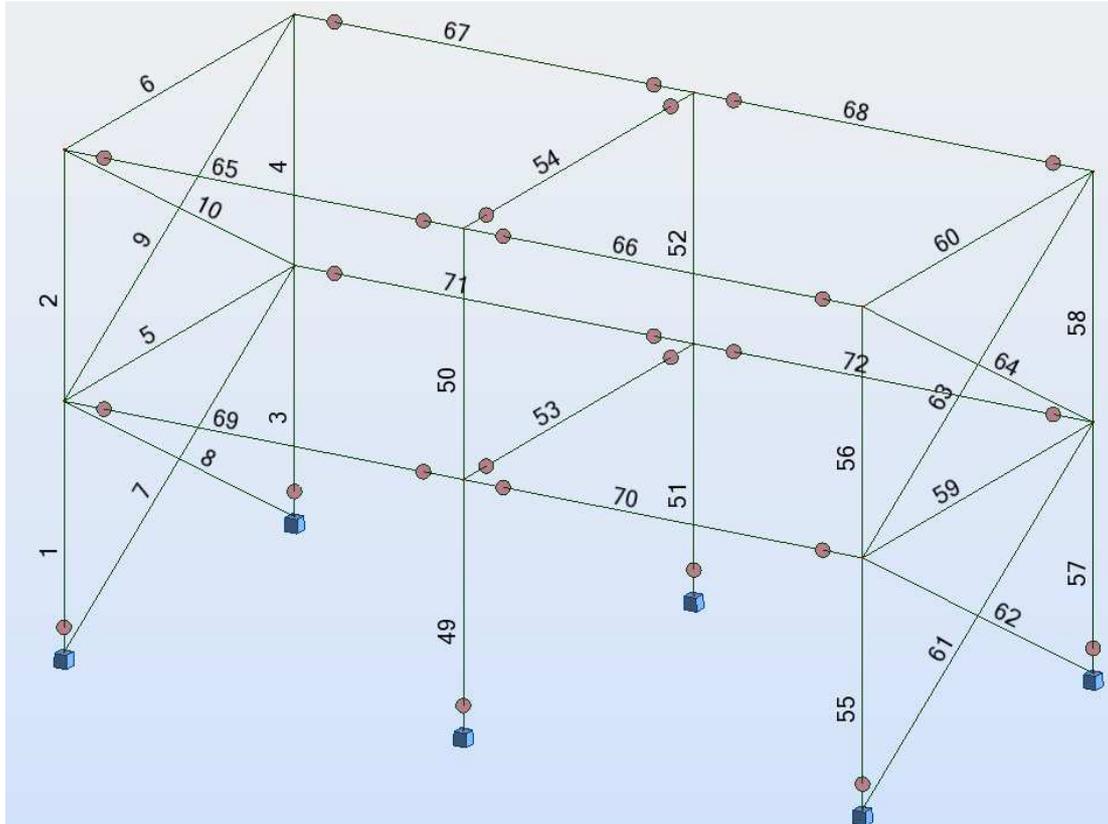


Figure 37 : Pushover : rotules non-linéaires affectées au modèle

3.4 Résultats de l'analyse Pushover :

Pour exploiter les résultats de l'analyse Pushover, il faut lancer les calculs en cliquant

sur le bouton « Calculer »  .

3.4.1 Graphe des moments et des déformations :

Aller dans le bureau « Résultats \ Résultats » :

- sélectionner dans la fenêtre déroulante le cas n°3 « 3 : Pushover 1 »,
- dans la fenêtre « Diagrammes », dans l'onglet « Déformée », activer « Déformée exactes pour les barres »,
- cliquer sur le bouton « Appliquer »,

Il apparaît la déformée de la structure dans la partie graphique.

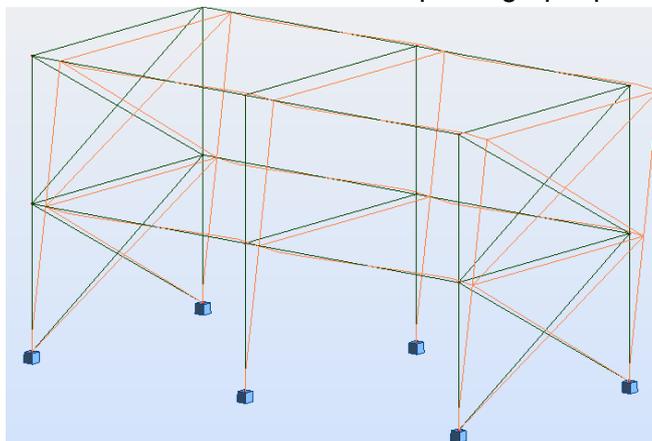


Figure 38 : Pushover : structures déformée sous le cas « Pushover 1 »

Atelier : L'EUROCODE 8 ou le calcul sismique

Vous avez la possibilité d'afficher l'évolution de la déformation en fonction de la valeur de la poussée :

- cliquer sur l'icône « Sélectionner composante du cas » ,
- faire naviguer le curseur sur les différentes composantes.



Figure 39 : Pushover : sélection des composantes

Vous remarquez l'évolution de la déformation en fonction de la composante sélectionnée (notamment observez la déformation de la structure des dernières composantes, on aperçoit clairement les rotules non linéaires).

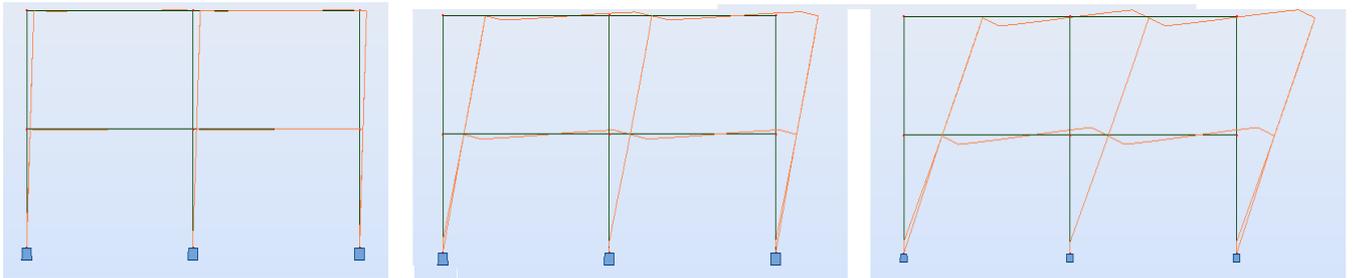


Figure 40 : Pushover : affichage des déformations sous diverses composantes

3.4.2 Analyse des dommages :

Dans le menu déroulant « Résultats \ Avancé \ Analyse de dommage-diagrammes... » :

- dans la fenêtre qui apparaît, cliquer sur le bouton « Ajouter »,
- dans l'onglet « Nœuds » :
 - o activer « UX »,
 - o sélectionner le cas « Pushover 1 »,
 - o dans le champ « Nœud », spécifier le nœud n³,
 - o cliquer sur le bouton « Ajouter »
 - o cliquer sur le bouton « Fermer »,
- faire passer le diagramme de la gauche vers la droite en
 - o sélectionnant le diagramme concerné,
 - o Cliquer sur le bouton « > »,
- cliquer sur le bouton « Appliquer ».

Vous pouvez visualiser la courbe de dommage du nœud n°3 de l'analyse Pushover n°1 (voir ci-dessous) :

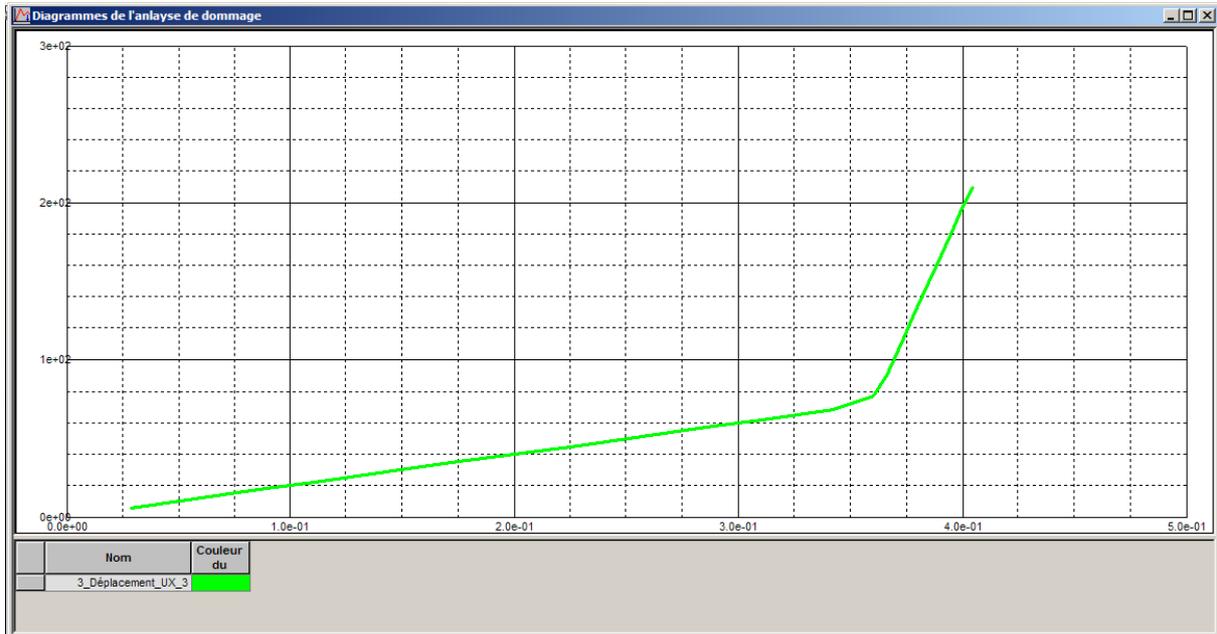


Figure 41 : Pushover : courbe d'endommagement du nœud n°3 suivant l'analyse Pushover n°1

Nota : Vous avez la possibilité :

- d'ajouter sur un même graphe plusieurs courbes d'endommagement (faire passer les différents diagrammes de la gauche vers la droite puis cliquer sur le bouton « Appliquer »),
- d'ajouter des informations supplémentaires sur les graphes (clic droit de la souris, « Colonnes »),
- de modifier les propriétés du graphique (clic droit de la souris, « Diagramme - propriétés »).

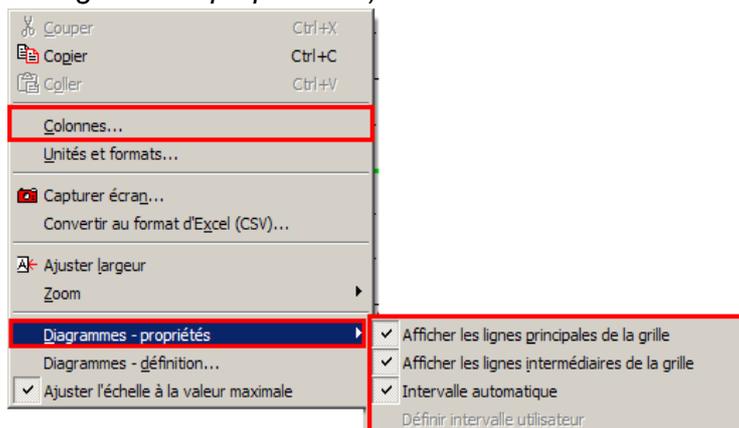


Figure 42 : Pushover : Propriétés du graphe d'endommagement

3.4.3 Analyse des courbes d'équilibre :

Dans le menu déroulant « Résultats \ Avancé \ Courbe d'équilibre... », vous avez la possibilité d'afficher diverses courbes :

- Déplacement – Somme des réactions,
- Spectre de l'état d'équilibre,
- Amortissement – Période (effectif).

a) Courbe d'équilibre Déplacement – Somme des réactions :

Dans la fenêtre « Courbe d'équilibre » :

- dans la fenêtre déroulante, sélectionner « Déplacement – Somme des réactions »,
- cliquer sur le bouton « Appliquer ».

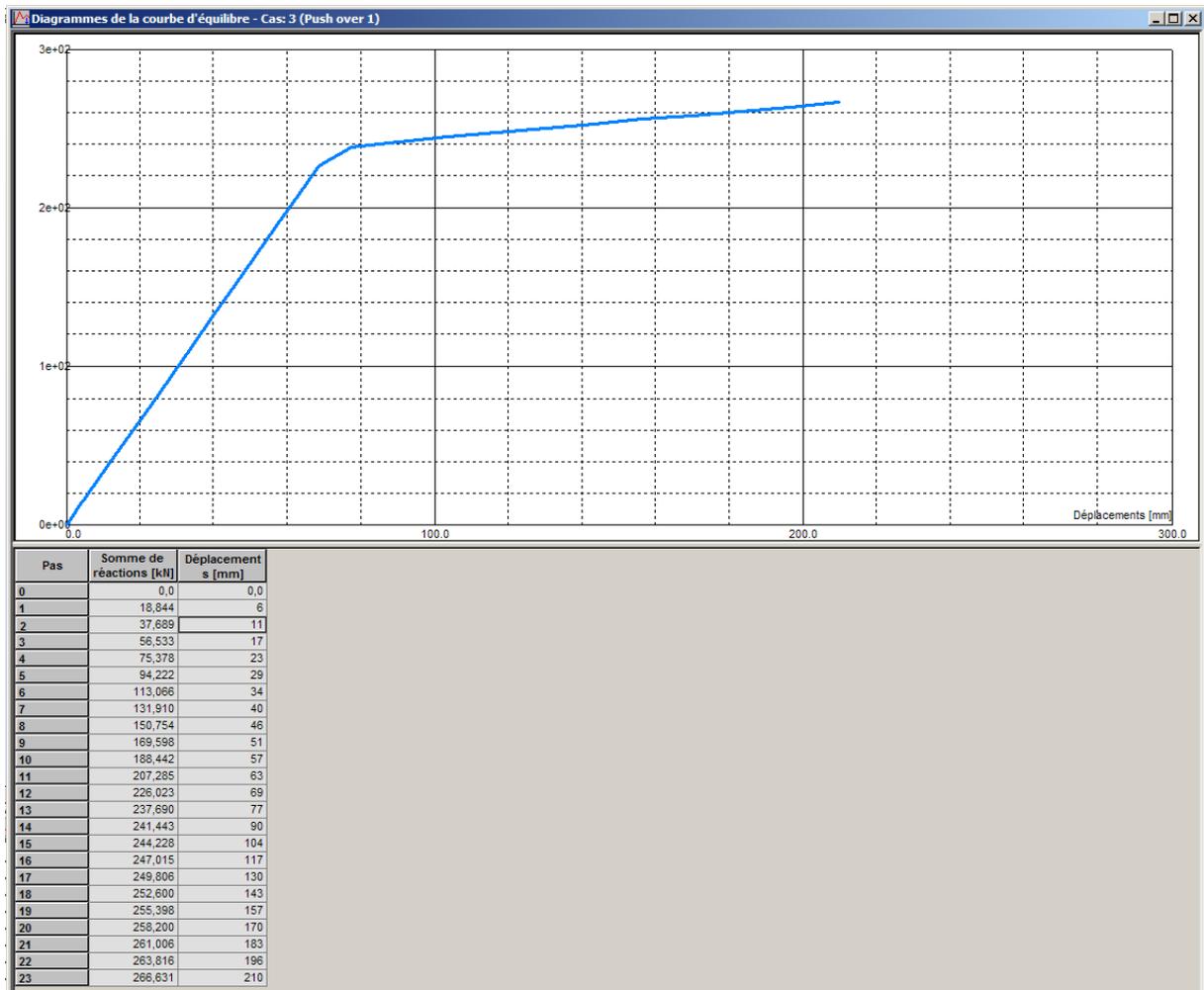


Figure 43 : Pushover : Propriétés Courbe d'équilibre Déplacement – Somme des réactions

Nota : comme précisé dans le chapitre précédent, il est possible d'ajouter des informations supplémentaires et de modifier les propriétés du graphique.

b) Spectre de l'état d'équilibre :

Dans la fenêtre « Courbe d'équilibre » :

- dans la fenêtre déroulante, sélectionner « Spectre de l'état d'équilibre »,
- définition du spectre d'excitation (voir référence ATC-40, chapitre 4). :
 - o coefficient sismique $C_a = 0,6$,
 - o coefficient sismique $C_v = 0,6$,
- cocher le spectre d'exploitation (changer la couleur),
- grilles auxiliaires :
 - o cocher « Lignes de la période constante » = 0,5 ; 0,8 ; 1,5 ,
 - o cocher « Spectres réduits » = 0,05 , 0,1, 0,2 ;
- amortissement visqueux = 0,05,
- amortissement hystérétique (type de structure) = B,
- cocher l'option « Ouvrir dans une nouvelle fenêtre »,
- cliquer sur le bouton « Appliquer ».

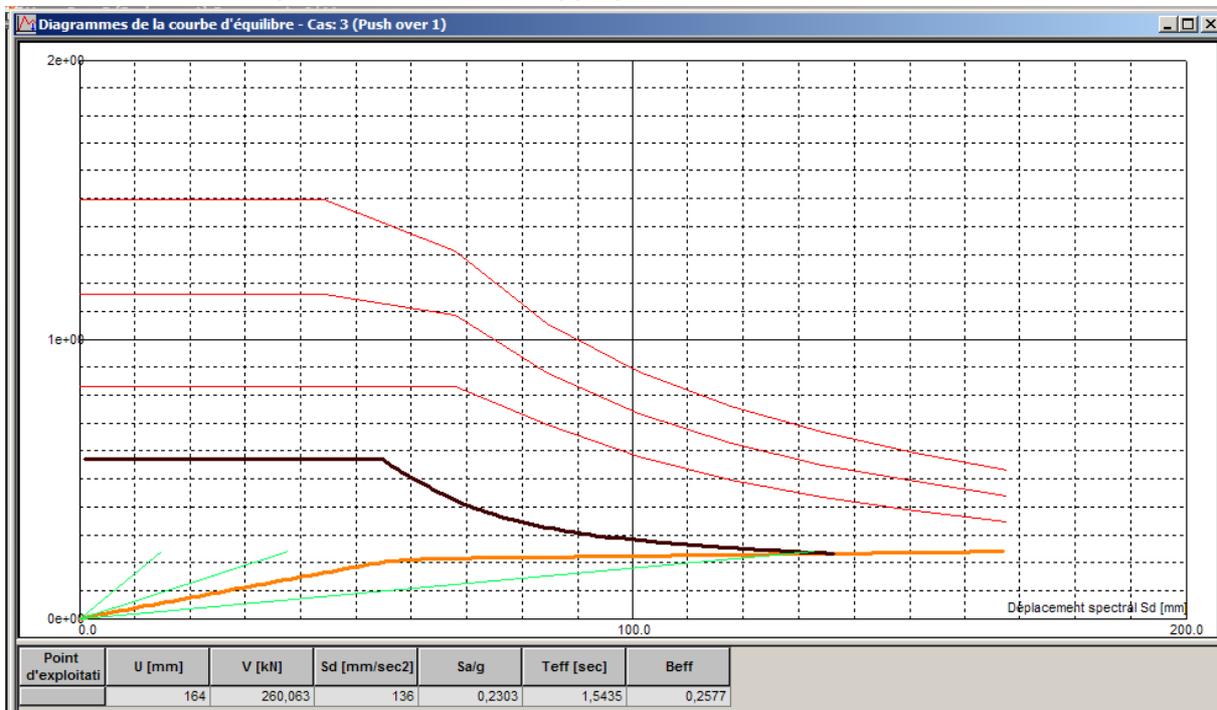


Figure 44 : Pushover : Courbe d'équilibre

Nota :

- « U », « V » - coordonnées du point dans le système : Déplacement - Somme des réactions.
- « S_d », « S_a/g » - coordonnées du point dans le système: Déplacement spectral - Accélération spectrale.
- « B_{eff} », « T_{eff} » - coordonnées du point dans le système : Amortissement effectif - Période effective.

Atelier : L'EUROCODE 8 ou le calcul sismique

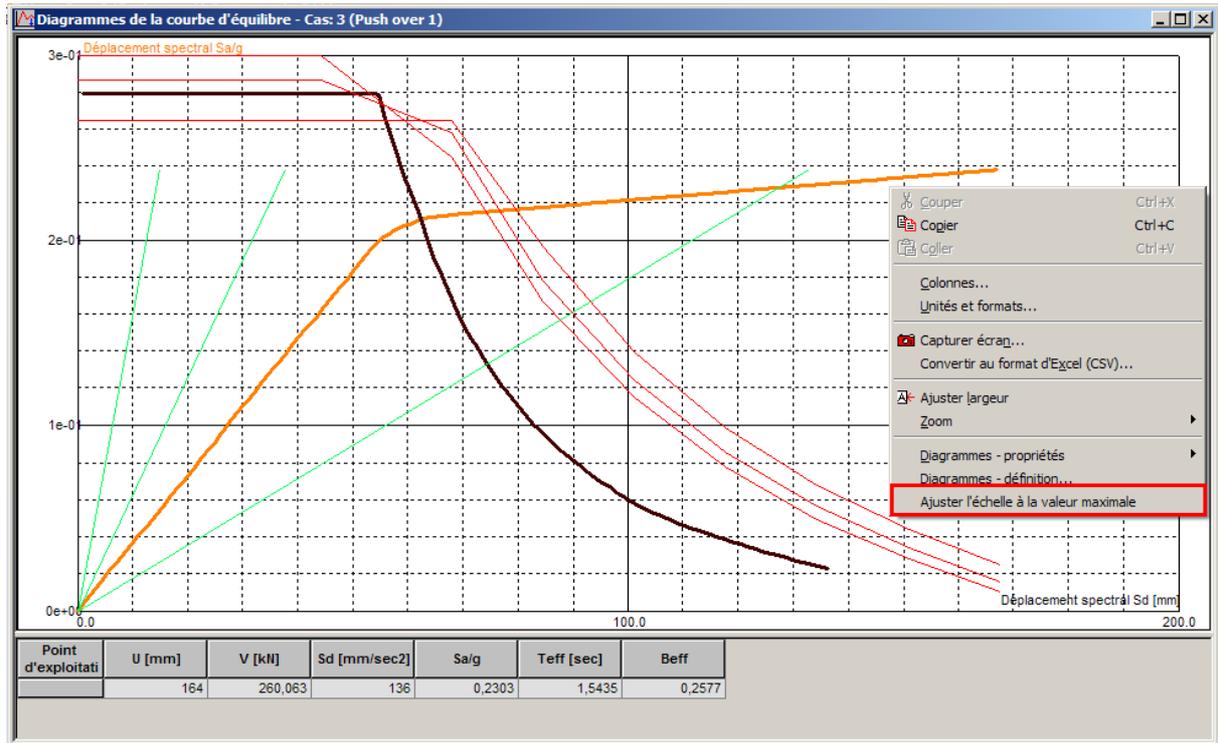


Figure 45 : Pushover : Courbe d'équilibre sans ajuster l'échelle