

Dynamique des Structures

Abdellatif MEGNOUNIF

E-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Application 20

**Calcul de la réponse dynamique
par la méthode des coefficients
du déplacement selon FEMA 273**

Objectif

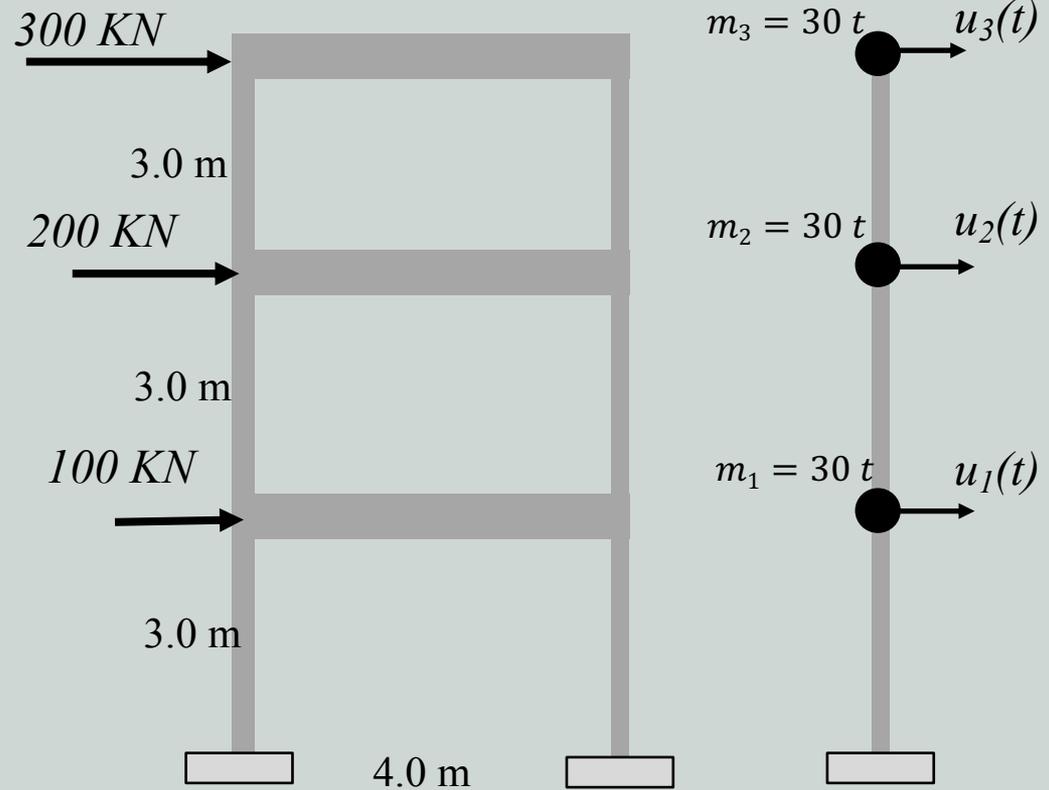
Le but de cette application est de :

- ❖ **Calculer la réponse dynamique d'une structure simple par la méthode statique non linéaire équivalente.**
- ❖ **On utilise la méthode du calcul des coefficients de déplacement selon FEMA 273 en association avec la méthode push over.**

Exemple

Considérons le portique à 03 étages de la figure ci-contre avec les données mentionnées.

- i) Calculer la réponse dynamique en utilisant la méthode du spectre de capacité en association avec la méthode push over.



Poteaux et poutres : 40 x 40 cm

- ✓ Zone III
- ✓ Groupe 2
- ✓ Site S3 ($T_1=0,15$; $T_2=0,5$)
- ✓ $R=1$ (spectre élastique)
- ✓ $Q=1$
- ✓ $A=0,25$
- ✓ $\xi=5\%$

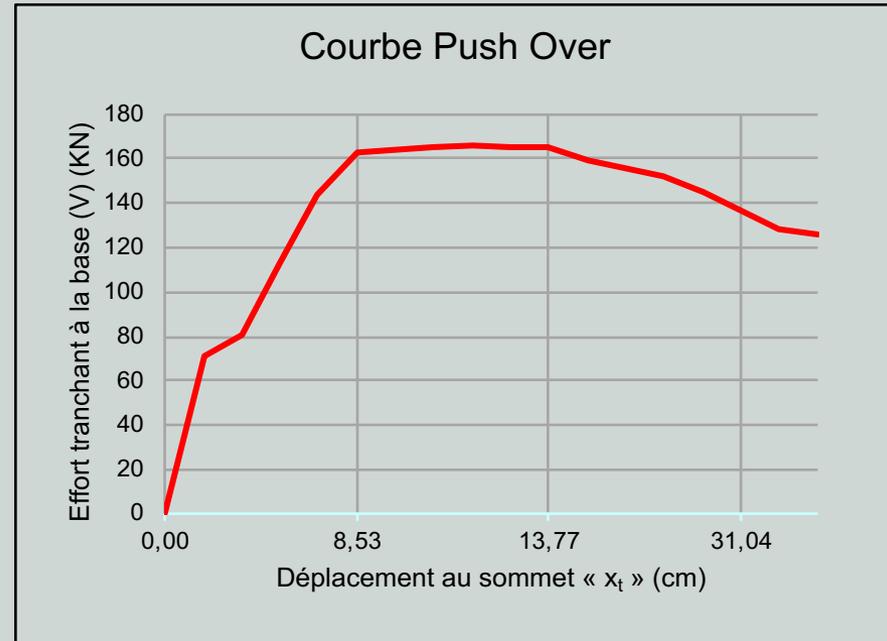
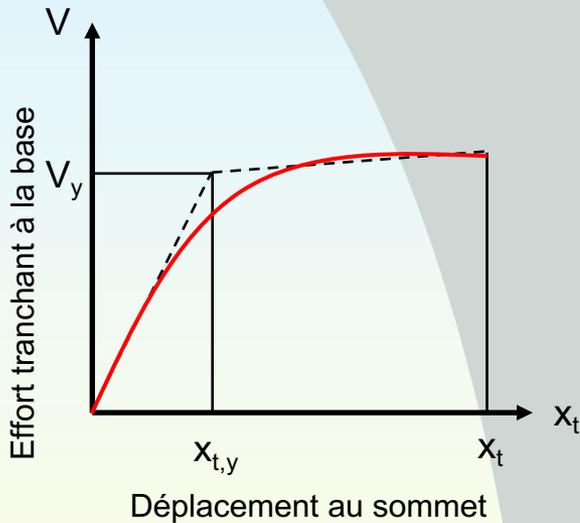
Même
exemple que
l'application
19

RPA 99-2003

Etape 1 :

Déterminer la courbe push over (par SAP2000, par exemple) dans le repère (V, x_t)

Courbe Pushover ?

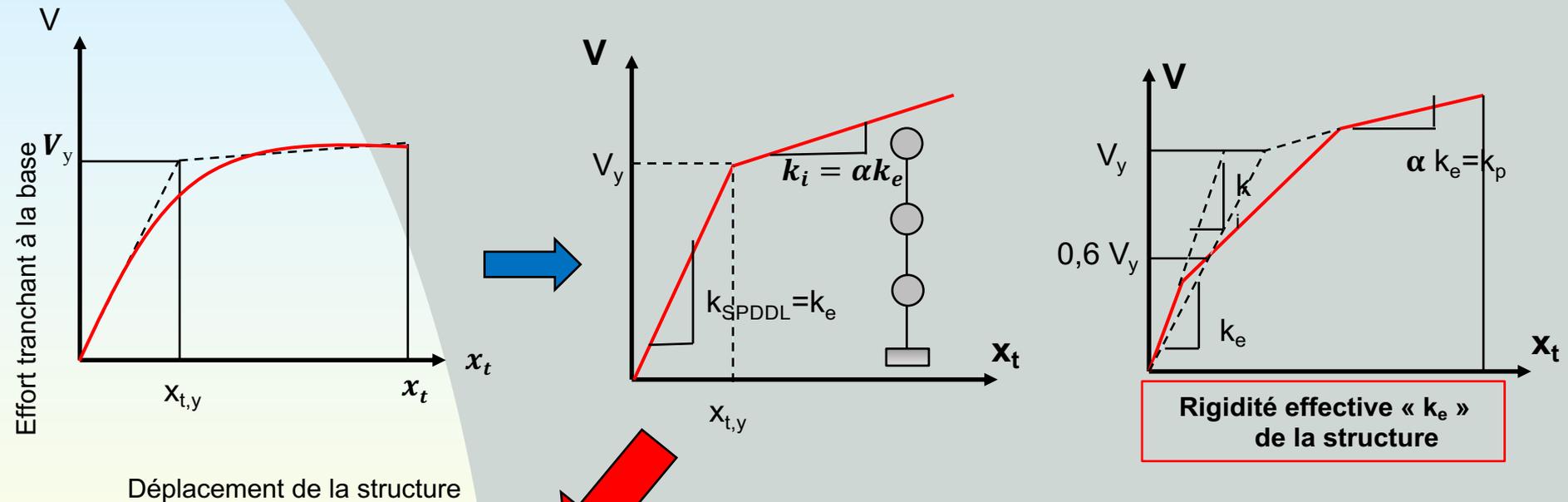


- 
- ✓ La méthode n'exige pas la conversion de la courbe de capacité en spectre de capacité.
 - ✓ La méthode fournit un processus direct pour le calcul de la « demande en déplacement ».

Etape 2 :

Calcul de « T_e » ???

La courbe pushover (SPDDL) non-linéaire doit être idéalisée à une courbe bi-linéaire pour identifier les paramètres globaux en terme de déplacement et de force, ce qui permet de définir l'effort tranchant à la limite élastique



- ✓ De cette courbe, on tire $x_{t,y}$ et V_y
- ✓ On peut calculer $k_e = \frac{V_y}{x_{t,y}}$ et $k_i = \alpha k_e$

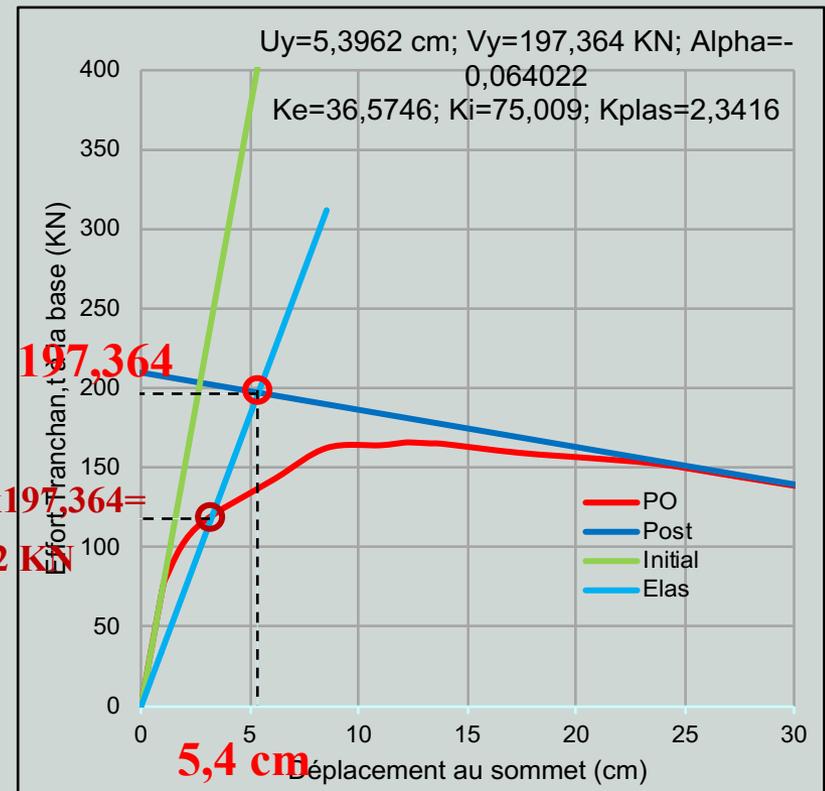
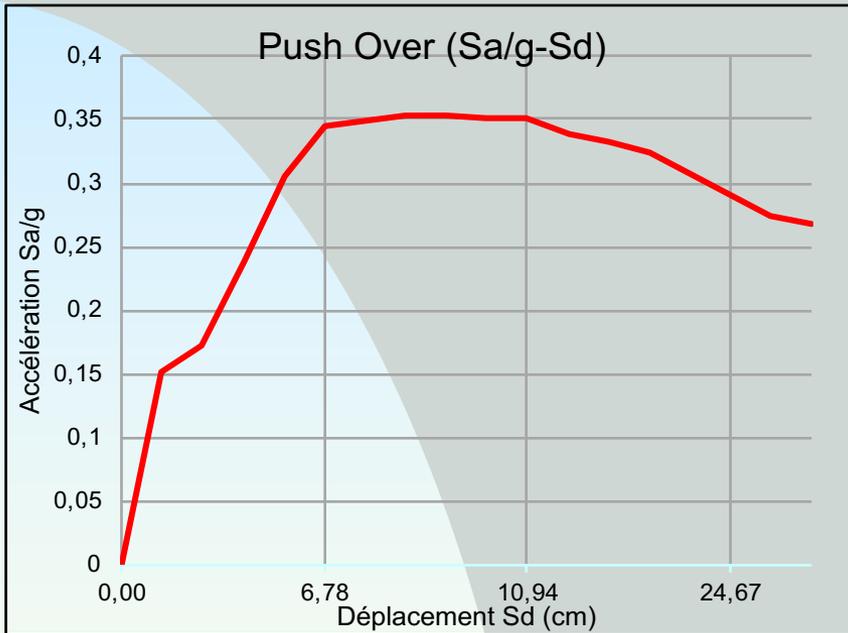
$$T_e = T_i \sqrt{\frac{k_i}{k_e}}$$

T_i : période élastique (s) calculée dans la direction considérée par une analyse dynamique élastique

k_i : Rigidité élastique de la structure

k_e : Rigidité effective de la structure dans la direction considérée (correspondant à $0,6 V_y$)

Etape 2 :



- ✓ De cette courbe, on tire $x_{t,y}$ et V_y
- ✓ On peut calculer $k_e = \frac{V_y}{x_{t,y}}$ et $k_{plas} = \alpha k_e$



$$X_{t,y} = 5,3962 \text{ cm} ; V_y = 197,364$$

$$k_e = \frac{V_y}{x_{t,y}} = \frac{197,364}{0,053962} = 3657,4627 \text{ KN/m}$$



$$T_e = T_i \sqrt{\frac{k_{plas}}{k_e}} = 0,59978 \sqrt{\frac{7500,9}{3657,4627}}$$

$$k_{plas} = \alpha k_e = 0,064022 \times 3657,4627 = 234,158 \text{ KN/m}$$

$$T_e = 0,86 \text{ s}$$

Etape 3 :

Calcul du déplacement maximal

FEMA propose l'expression du déplacement au sommet de la structure (déplacement cible):

Les constantes C_i pour prendre en considération les différents aspects de la partie non linéaire inélastique

Conversion du déplacement spectral à celui du sommet du SPDDL

Conversion du déplacement élastique à celui inélastique

Prise en compte effets dynamiques P- Δ

Période « effective »

Déplacement spectral élastique S_d pour S1DDL

$$x_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

x_t^{in}

Déplacement cible

Valeur maximale du déplacement du sommet correspondant au séisme future

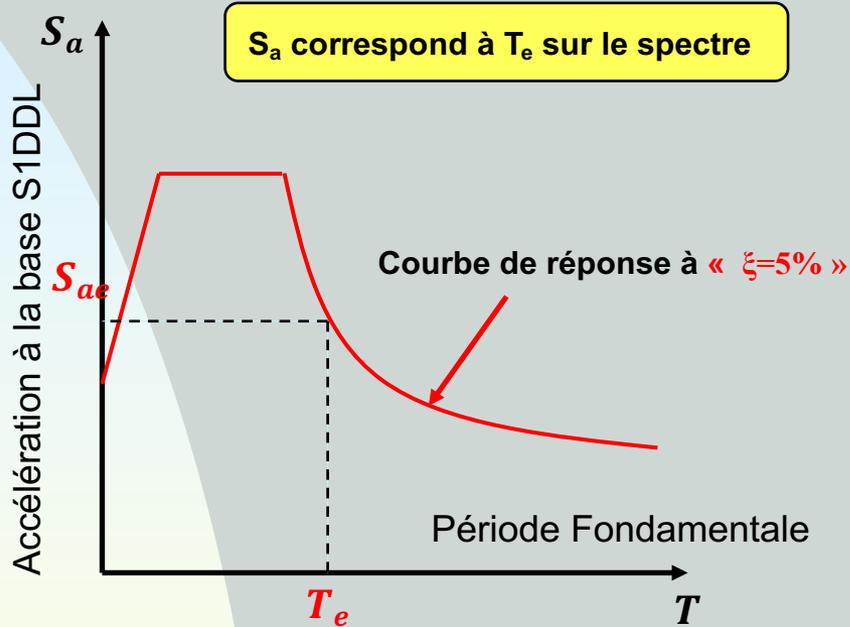
Prise en compte de la forme des boucles hystérésis

Accélération spectrale à T_e

S_a correspond à T_e sur le spectre

Etape 3 :

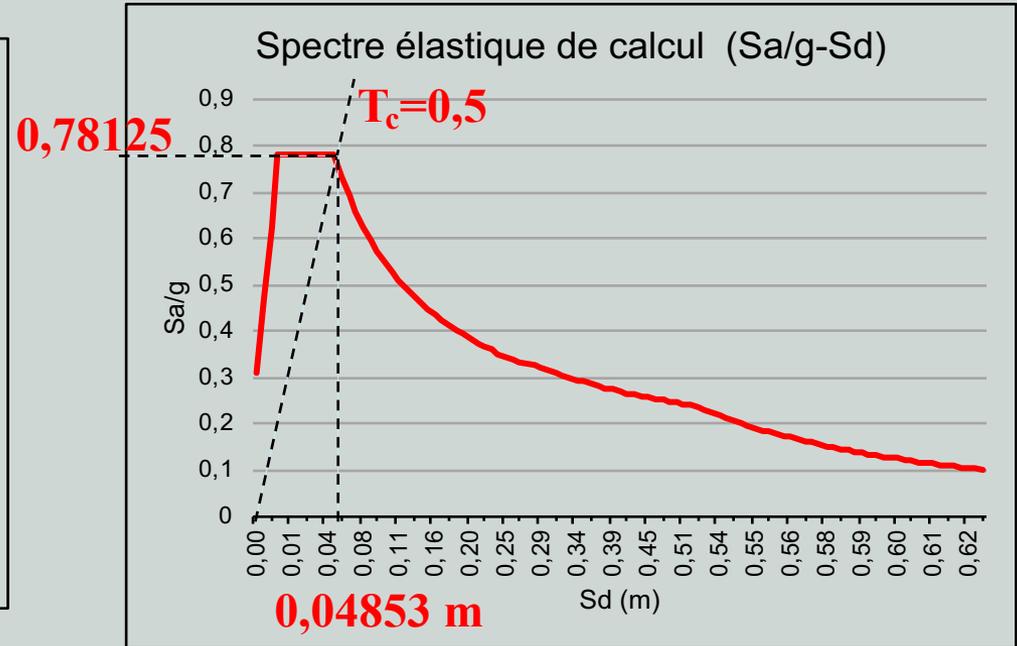
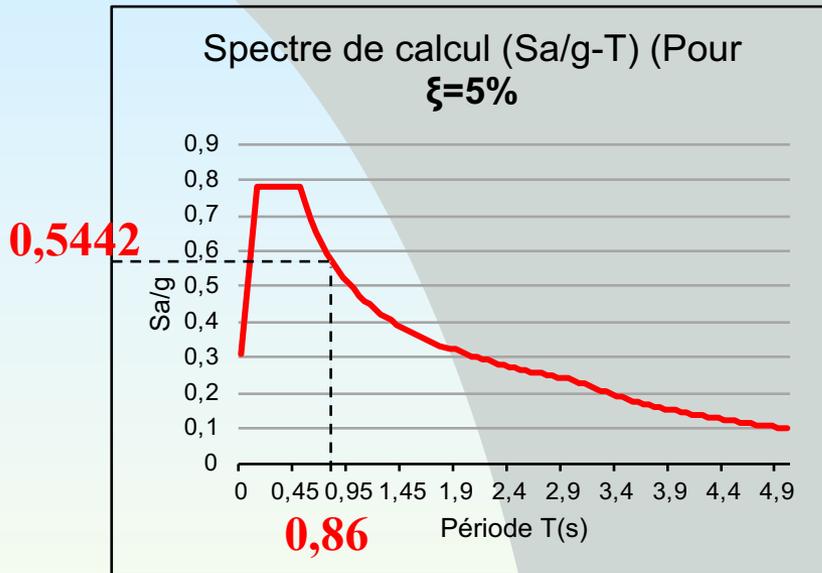
Déterminer « S_a » ?



T_c : Période caractéristique du spectre de réponse, définie comme étant la période de transition entre le segment des accélérations constantes et le segment des vitesses constantes.

Détermination de « S_{ae} » pour « T_e, ξ » choisi

Pour notre exemple



D'où : $S_{ae} = S_{ae}(0,86 ; 5\%) = 0,5442 \times 9,81 = 5,3386 \text{ m/s}^2$

Et $T_c = 0,5 \text{ s}$ (tiré du graphe $S_a/g - S_d$)

$$S_d = \frac{T^2 S_a}{4\pi^2}$$

Etape 3 :

Valeurs des coefficients ?

Facteur C_0

Facteur correcteur qui relie le déplacement spectral au déplacement du sommet (SPDDL).

FEMA 273

Nbr d'étages	Facteur C_0
1	1,0
2	1,2
3	1,3
5	1,4
10 ⁺	1,5



$C_0 = 1,30$

On peut utiliser FEMA 356 (C_0 en fonction du type de chargement).

Même principe

Etape 3 :

Valeurs des coefficients ?

Facteur C_1

Facteur correcteur qui relie le déplacement inélastique au déplacement linéaire élastique

$$\begin{cases} C_1 = 1. & T_e > T_c \\ C_1 = \frac{\left[1 + \frac{(R_\mu - 1)T_c}{T_e} \right]}{R_\mu} & T_e < T_c \end{cases}$$

C_1 ne doit pas dépasser les valeurs

$$\begin{cases} C_1 = 1,5 & T < 0,1 \text{ s} \\ C_1 = 1 & T > T_c \end{cases}$$

$$R_\mu = \frac{S_{ae}}{V_y/W} \cdot \frac{1}{C_0} = \frac{S_{ae}}{V_y/W} \cdot \frac{1}{1,30}$$

$$T_c = 0,5 \text{ (Du spectre de réponse)}$$

$$T_e = 0,86 > T_c = 0,5$$

$$C_1 = 1$$



$$C_1 = 1,0$$

T_c : Période caractéristique du spectre de réponse, définie comme étant la période de transition entre le segment des accélérations constantes et le segment des vitesses constantes.

T : Période fondamentale de la structure dans la direction considérée, calculée par l'une des méthodes:

Méthode 1 : Analyse dynamique en utilisant les valeurs propres d'un modèle mathématique de la structure.

Méthode 2 : En utilisant: $T = C_t h_n^{3/4}$ ($C_t=0,030$ pour BA ; $0,035$ pour l'acier et h_n : hauteur de la base au sommet)

$R_\mu = \frac{S_{ae}}{V_y/W} \cdot \frac{1}{C_0}$ Facteur de réduction selon FEMA 273 (rapport entre les forces élastique et inélastique)

V_y : effort tranchant relation bi-linéaire (voir courbe avant)

W : poids de la structure

S_{ae} : l'accélération spectrale correspondant à T_e et l'amortissement du bâtiment.

Etape 3 :

Valeurs des coefficients ?

Facteur C_2

Facteur correcteur qui représente l'effet de la forme hystérétique sur le déplacement maximal, dépend du type du portique et du niveau de performance de la structure

Niveau performance	T=0,1 s		T \geq T _c	
	Portiques			
	Type 1 ¹	Type 1 ²	Type 1 ¹	Type 1 ²
Occupation immédiate	1,0	1,0	1,0	1,0
Sécurité de vie	1,3	1,0	1,1	1,0
Prévention de ruine	1,5	1,0	1,2	1,0

1. Structures avec +30% de l'effort tranchant dans n'importe quel niveau est repris par les éléments dont leur rigidité est détériorée lors du séisme (portiques résistants par le moment, palées de stabilité triangulées, murs en maçonnerie non armé).
2. Toutes structures non désignées en 1.

Occupation Immédiate : Correspond au comportement élastique de la structure, aucun endommagement significatif.

Sécurité de vie : Dommages importants dans les éléments structuraux avec une réduction considérable de la rigidité, cependant la structure conserve une large marge de résistance avant la ruine.

Prévention de la ruine : Dommages considérables dans les éléments structuraux et non structuraux, dégradation remarquable de la résistance et de la rigidité de la structure, avec une petite marge avant la ruine totale.

$$T_e = 0,86 \geq T_c = 0,50$$

Type 1²

Niveau de performance : LS



$$C_2 = 1,00$$

A interpoler si c'est nécessaire

Etape 3 :

Valeurs des coefficients ?

Facteur C_3

Facteur de modification pour représenter l'accroissement du déplacement sous les effets P- Δ

$$\begin{cases} C_3 = 1. & \text{Rigidité post-élastique} > 0 \\ C_3 = 1 + \frac{|\alpha| [1 + (R_\mu - 1)^{3/2}]}{T_e} & \text{Rigidité post-élastique} < 0 \end{cases}$$

$$\alpha = -0,064$$

$$R_\mu = \frac{S_{ae}}{V_y/W} \cdot \frac{1}{C_0} = \frac{5,4486}{197,364/90} \cdot \frac{1}{1,30}$$

$$R_\mu = 1,91$$

$$T_e = 0,86$$

Rigidité post élastique négative

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha| [1 + (R_\mu - 1)^{3/2}]}{T_e} = 1 + \frac{|-0,064| [1 + (1,91 - 1)^{3/2}]}{0,86}$$



$$C_3 = 1,144$$

Etape 3 :

Calcul du déplacement

$$x_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$$x_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g = 1,3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,144 \times 5,3386 \times \frac{0,86^2}{4\pi^2}$$

$$x_t = 0,1487 \text{ m}$$

Comparaison

ATC 40 (Spectre de capacité)



$$x_t = 0,1447 \text{ m}$$



La comparaison dépend :

- ✓ Du type de structures choisie dans ATC 40 (A, B ou C)
- ✓ Du coefficient C2 (Méthode de déplacement) qui dépend du niveau de performance.

Avec, ces 02 valeurs, au sommet du bâtiment « $x_t = 0,1487 \text{ m}$ » et « $V_b = 197,364 \text{ KN}$ » on va les distribuer sur les hauteurs

Les déplacements par étage, seront :

$$x = \phi_1 x_t \quad \text{Avec} \quad \{\phi_1\} = \begin{pmatrix} 0,2973 \\ 0,7144 \\ 1,0 \end{pmatrix} \quad \text{On aura} \quad \{x\} = \begin{pmatrix} 0,2973 \\ 0,7144 \\ 1,0 \end{pmatrix} 0,1487$$

$$\{x\} = \begin{pmatrix} 0,0442 \\ 0,1062 \\ 0,1487 \end{pmatrix}$$

La répartition de l'effort tranchant à la base suivant la hauteur, sera

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

Etage	$W_i(\text{KN})$	$h_i(\text{m})$	$W_i \cdot h_i$	$\frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$	Fe (KN)	Cumul Fe
1	294,3	3	882,9	0,167	32,894	32,894
2	294,3	6	1765,8	0,333	65,788	98,682
3	294,3	9	2648,7	0,5	98,682	197,364
			5297,4		197,364	

Méthode des coefficients de déplacement

FEMA 273/356

SAP 2000

SAP 2000

Spectre de réponse au format (Sa, T)

S Response Spectrum Function Definition

Function Name: RPA Function Damping Ratio: 0,05

Define Function

Period	Acceleration
0,	3,0656
0,05	4,5984
0,1	6,1313
0,15	7,6641
0,2	7,6641
0,25	7,6641
0,3	7,6641
0,35	7,6641

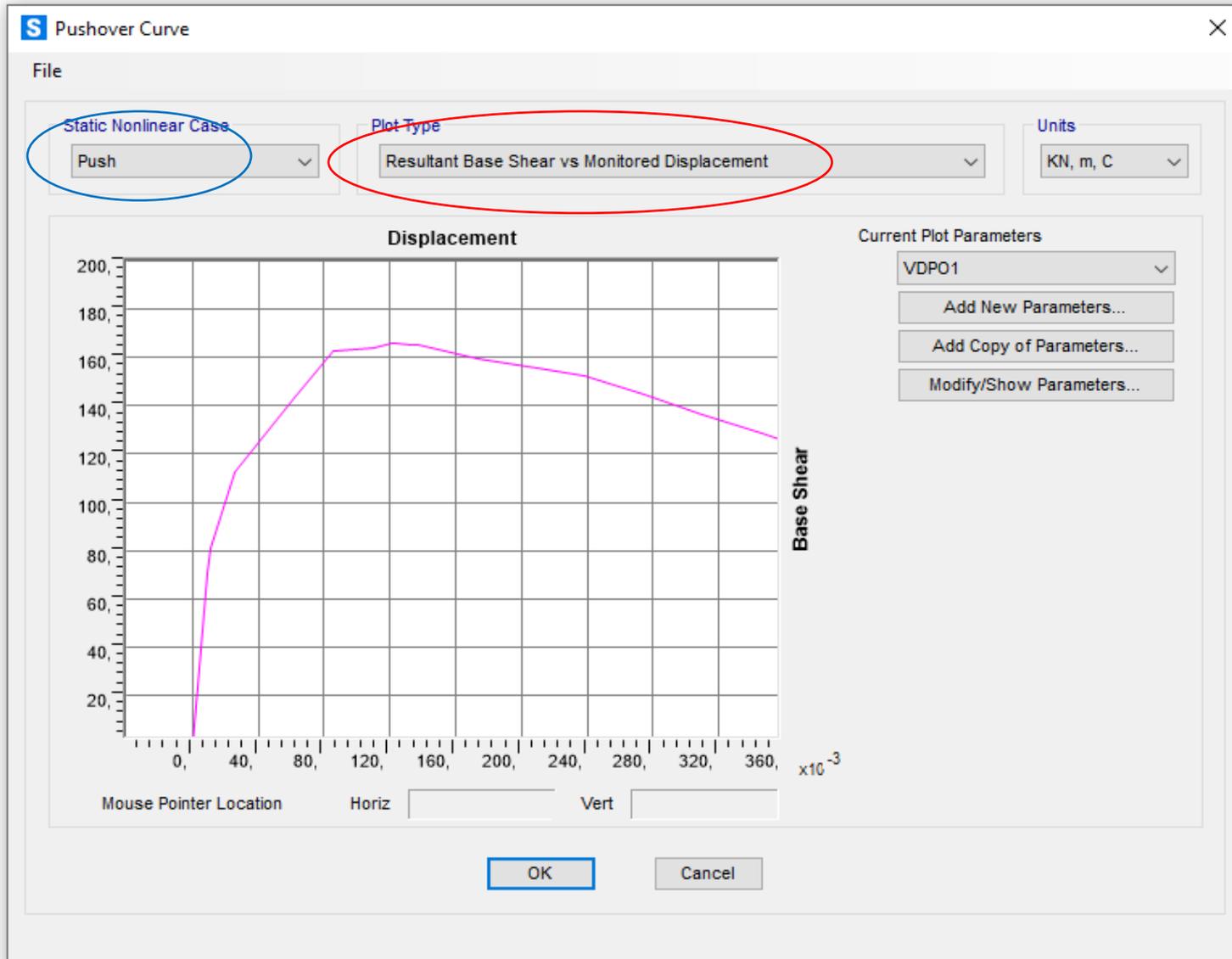
Buttons: Add, Modify, Delete

Function Graph

Display Graph (4,0464 , 1,4097)

Buttons: OK, Cancel

Courbe Push over au format (V, x_t)



Courbe Push over au format (V, x_t)

Pushover Capacity Curve

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Pushover Capacity Curve

Filter:

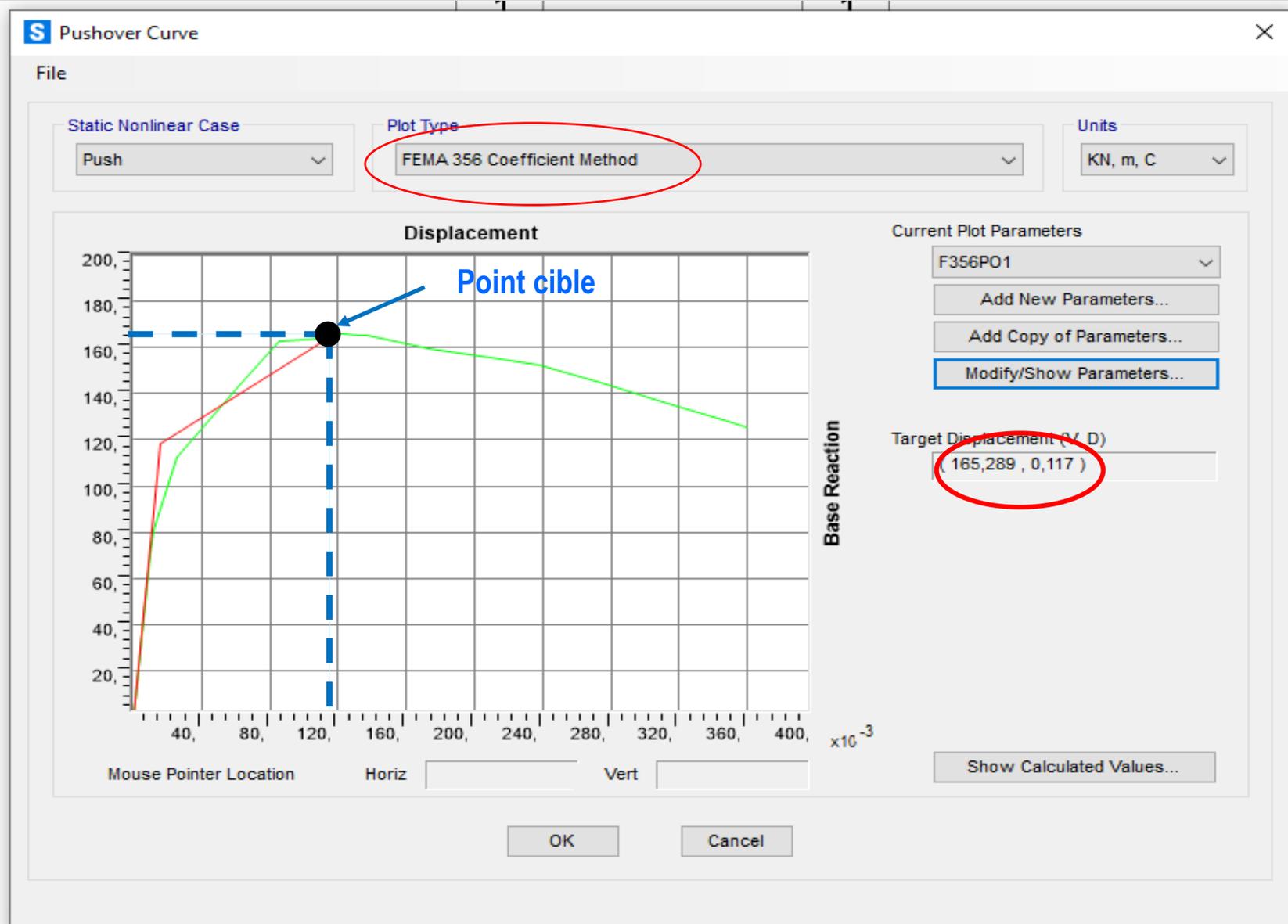
	LoadCase Text	Step Unitless	Displacement	BaseForce KN	AtoB Unitless	BtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	BeyondE Unitless	AtolO Unitless	IOtoLS Unitless
▶	Push	0	-6,099E-19	0	18	0	0	0	0	18	0
	Push	1	0,009455	70,921	17	1	0	0	0	18	0
	Push	2	0,011348	80,754	15	3	0	0	0	18	0
	Push	3	0,025646	112,805	12	6	0	0	0	18	0
	Push	4	0,061646	143,345	12	6	0	0	0	12	6
	Push	5	0,085305	162,623	10	8	0	0	0	12	6
	Push	6	0,110116	164,298	10	7	1	0	0	11	2
	Push	7	0,120578	165,907	10	5	3	0	0	10	1
	Push	8	0,123532	166,099	10	4	4	0	0	10	1
	Push	9	0,133515	165,451	10	3	5	0	0	10	1
	Push	10	0,137719	165,351	10	2	6	0	0	10	1
	Push	11	0,173719	159,565	10	2	6	0	0	10	1
	Push	12	0,209719	155,879	10	2	6	0	0	10	0
	Push	13	0,238368	152,381	10	0	8	0	0	10	0
	Push	14	0,274368	144,494	10	0	8	0	0	10	0

Record: << < 1 > >> of 18 Done

OK

Cancel

Détermination du point cible



Détermination du point cible

The image displays a software interface for structural analysis, specifically the 'Parameters For FEMA 356 Coefficient Method' dialog box. The background shows a 'Pushover Curve' plot with a bilinear force-displacement curve. The dialog box is titled 'Parameters For FEMA 356 Coefficient Method' and contains the following fields and options:

- Pushover Parameters Name:** Name: F356PO1, Units: KN, m, C
- Demand Spectrum Definition:** Effective Viscous Damping (0 < Damp < 1): 0,05
- Selected Coefficients:** (highlighted with a red circle)
 - User Value for C2
 - User Value for C3
 - User Value for Cm
- FEMA 356 General Response Spectrum:** Mapped Spectral Accel at Short Period, Ss: 1, Mapped Spectral Accel at 1 Sec Period, S1: 0,4, Site Class: D
- Items Visible On Plot:** Show Capacity Curve (checked, Color: Green), Show Idealized Bilinear Force-Displ Curve (checked, Color: Red)

Buttons at the bottom include 'Update Plot', 'Set Axis Labels and Range...', 'OK', and 'Cancel'.

Merci. Fin de l'Application 20