

Autodesk® Robot™ Structural Analysis 2012

Le calcul Elasto-plastique

Sommaire

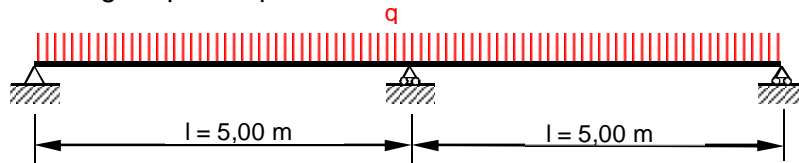
1 -	OBJET :	2
2 -	L'EXEMPLE SIMPLE :	2
3 -	DANS LE LOGICIEL :	3
3.1 -	Les appuis :	3
3.2 -	Les sections :	3
3.3 -	Les charges :	3
3.4 -	L'analyse :	4
3.5 -	Le nombre d'éléments le long des poutres :	4
4 -	LES RESULTATS :	5
4.1 -	Possibilité de voir les efforts en fonction de l'incrément de charge :	5
4.2 -	Possibilité de voir les coefficients de chage de plastification :	6
4.3 -	Possibilité de visualiser le processeur du calcul :	7
5 -	CONCLUSION :	7

1 - Objet :

Une analyse élasto-plastique est un calcul compliqué car à la fois elle associe une analyse non-linéaire géométrique deuxième ordre avec une analyse matérielle. L'objet de ce document est de montrer les paramètres de l'analyse élasto-plastique et la méthodologie à adopter dans le logiciel AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2012. A des faits plus pragmatiques, nous développerons l'argumentaire autour d'un exemple simple.

2 - L'exemple simple :

Il s'agit d'un HEA120 (caractéristiques tirées du catalogue de l'OTUA) sur trois appuis soumise à une charge répartie q .



Ce système est hyperstatique de degré 2, cela veut dire qu'il faut deux rotules plastiques pour obtenir la ruine de la structure. Dans l'exemple simple introduit ci-dessus voici les mécanismes de ruine prévisibles :



En théorie, pour le deuxième mode de ruine, la deuxième rotule plastique apparaît en même temps au milieu des deux travées. Cela est très théorique car lors de la construction, les travées seront légèrement différentes et donc la deuxième rotule plastique apparaîtra dans une seule travée.

Une analyse élasto-plastique est une analyse incrémentale, c'est à dire que l'on va faire varier le chargement jusqu'à atteindre des événements (rotule plastique, ruine...).

La valeur de la charge produisant la rotule plastique peut être calculée suivant la théorie des travaux cinématiques. Le lecteur pourra se reporter à la bibliographie pour plus de précision sur la méthode.

Concernant notre exemple :

- la première rotule plastique est atteinte sous $q_1 = \frac{8M_{pl}}{L^2}$,

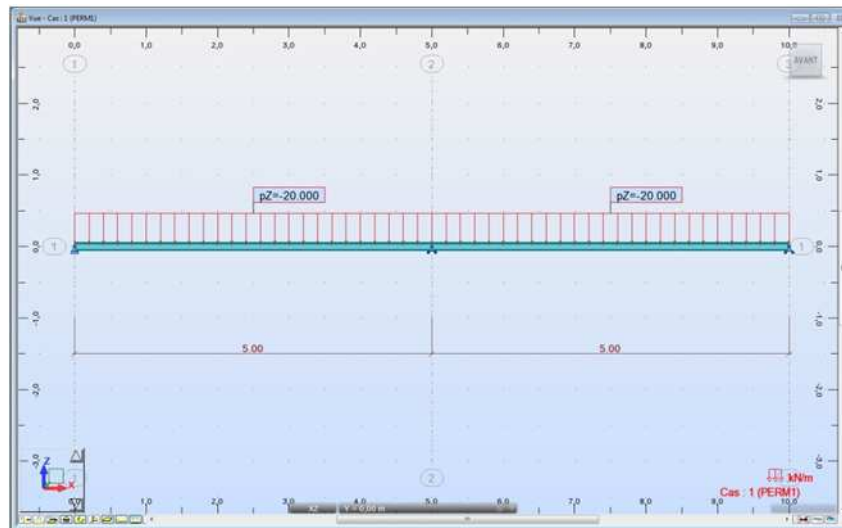
- la deuxième rotule plastique est atteinte sous $q_2 = q_u = \frac{M_{pl}}{L^2} (6 + 4\sqrt{2})$

Soit $M_{pl} = W_{pl} \times f_y = 119,49 \cdot 10^3 \times 235 = 28,08 \text{ kN.m}$

d'où $q_1 = 8,99 \text{ kN} \approx 9,00 \text{ kN}$

$q_2 = q_u = 13,09 \text{ kN} \approx 13,10 \text{ kN}$

3 - Dans le logiciel :



Afin d'arriver à ce résultat, il faut faire attention à quelques étapes de modélisation que vous trouvez ci-dessous :

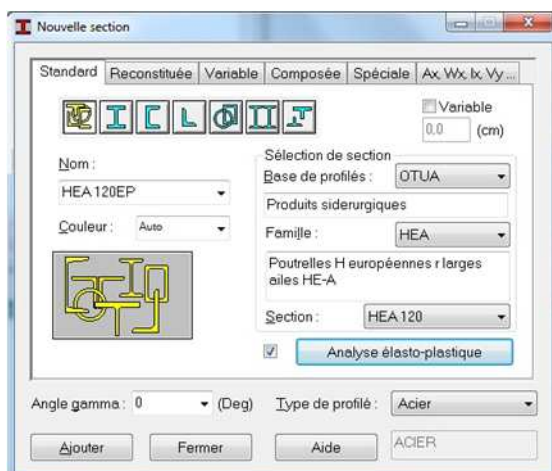
3.1 -Les appuis :

Il faut utiliser un appui articulé et deux appuis simples (libre de se déplacer horizontalement).

3.2 -Les sections :

Dans la fenêtre de création des sections :

- sélectionner le HEA120,
- activer la case à coche "Analyse élasto-plastique",
- cliquer sur le bouton " Analyse élasto-plastique",
- activer le bouton radio "Elastique plastique idéal",
- cliquer sur le bouton "Valider" puis sur le bouton "Ajouter".



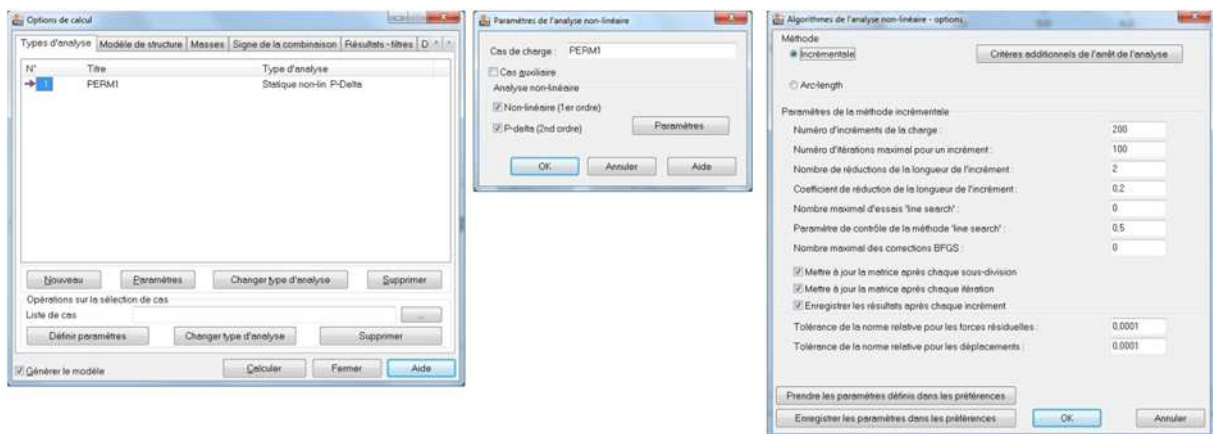
3.3 -Les charges :

Mettre une charge de 20 kN/m répartie sur les deux poutres (négliger le poids propre de la poutre).

3.4 -L'analyse :

Dans la fenêtre "Option de calcul", sélectionner le cas de charge et cliquer sur le bouton "Paramètres" :

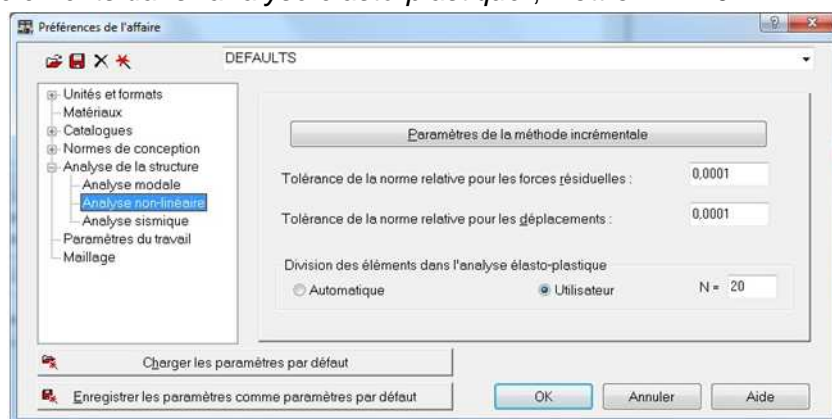
- activer l'option "P-delta" (automatiquement l'option "Non-linéaire" s'active),
- cliquer sur le bouton "Paramètres",
 - introduire au "Nombre d'incrément de la charge" = 200,
 - introduire au "Nombre d'itérations maximum" = 100,
 - introduire au "Nombre de réduction de la longueur de l'incrément" = 2,
 - Introduire au "Coefficient de réduction de la longueur de l'incrément" =0,5,
 - activer l'option "Mettre à jour à jour la matrice après chaque itération"
 - activer l'option "Enregistrer les résultats après chaque incrément"



3.5 -Le nombre d'éléments le long des poutres :

Pour analyser finement la plastification le long de la poutre, le logiciel dispose d'un paramètre dans le préférence de l'affaire.

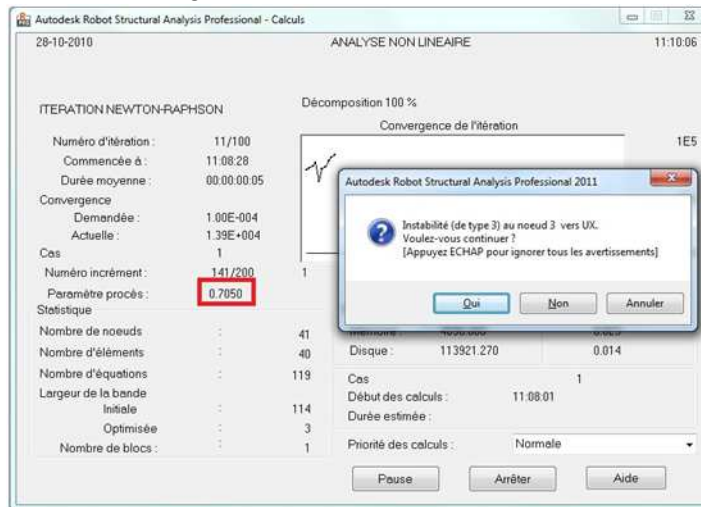
- Ouvrir "Les préférences de l'affaire",
- Dans "Analyse de la structure", sous l'option "Analyse non-linéaire", dans la partie "Division des éléments dans l'analyse élasto-plastique", mettre "N"=20.



Une fois cela paramétré, vous pouvez lancer le calcul.

4 - Les résultats :

Le processus itératif commence à ne plus trouver de convergence au processus 0,7050; appuyez sur la touche "Echap" de votre clavier, le logiciel va continuer le processus en réduisant l'incrément de chargement.

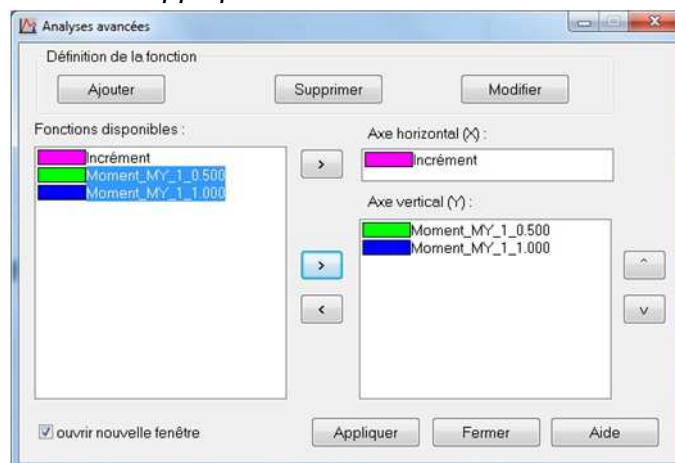


4.1 - Possibilité de voir les efforts en fonction de l'incrément de charge :

- Cliquer sur l'option "*Diagrammes...*" dans le menu déroulant "*Résultats / Avancés*",
- Dans la fenêtre qui apparaît, cliquer sur le bouton "*Ajouter*",
- Sélectionner "*Incrément (temps)*",
 - cocher "*Incrément*",
 - cliquer sur le bouton "*Ajouter*".
- Sélectionner "*Barres-poutres*",
 - cocher "*My*",
 - "*Élément*" ==> 1,
 - "*Position*" ==> 0,5,
 - cocher "*Relative*",
 - cliquer sur le bouton "*Ajouter*".

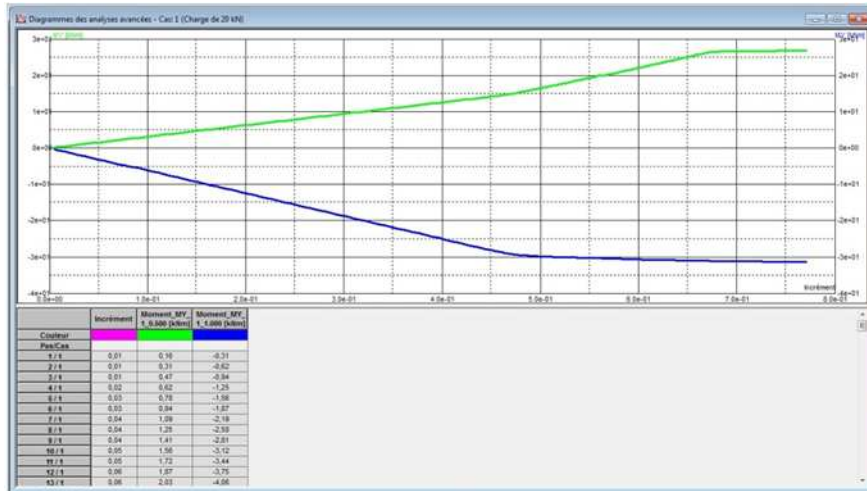
Ensuite faites la même chose avec une position de "1,00"

- De retour dans la fenêtre "*Analyses avancées*", sélectionner "*Incrément*" et le faire passer à droite dans "*Axe horizontale (X)*",
- Concernant les moments, les faire passer à droite dans "*Axe verticale (Y)*",
- Cliquer sur le bouton "*Appliquer*".

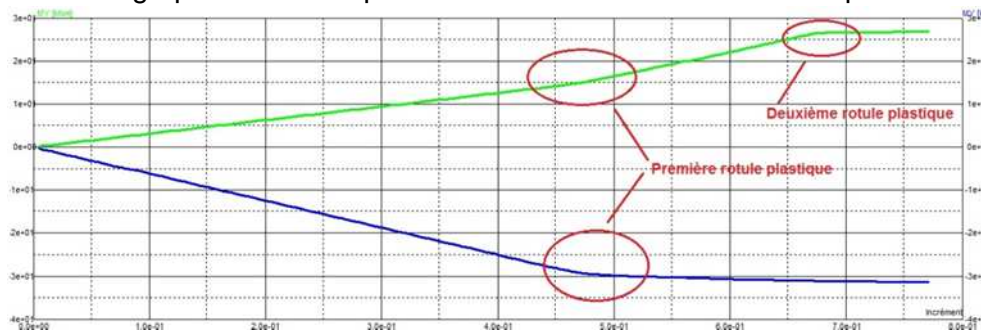


Résultats :

Vous trouvez ci-dessous les résultats du calcul incrémental du moment en travée (vert) et sur appui central au deux poutres (bleu).



C'est deux graphes illustrent parfaitement les différents stades de plastification :



4.2 - Possibilité de voir les coefficients de charge de plastification :

Il est possible d'avoir un tableau qui indique l'historique de plastification :

- Cliquer sur l'option "*Historique de plastification...*" dans le menu déroulant "*Résultats / Nonlinéarité / Plasticité*",
- Dans la fenêtre qui apparaît, cliquer sur le bouton "*Ajouter*",
- Cliquer dans l'onglet "*Valeur*".

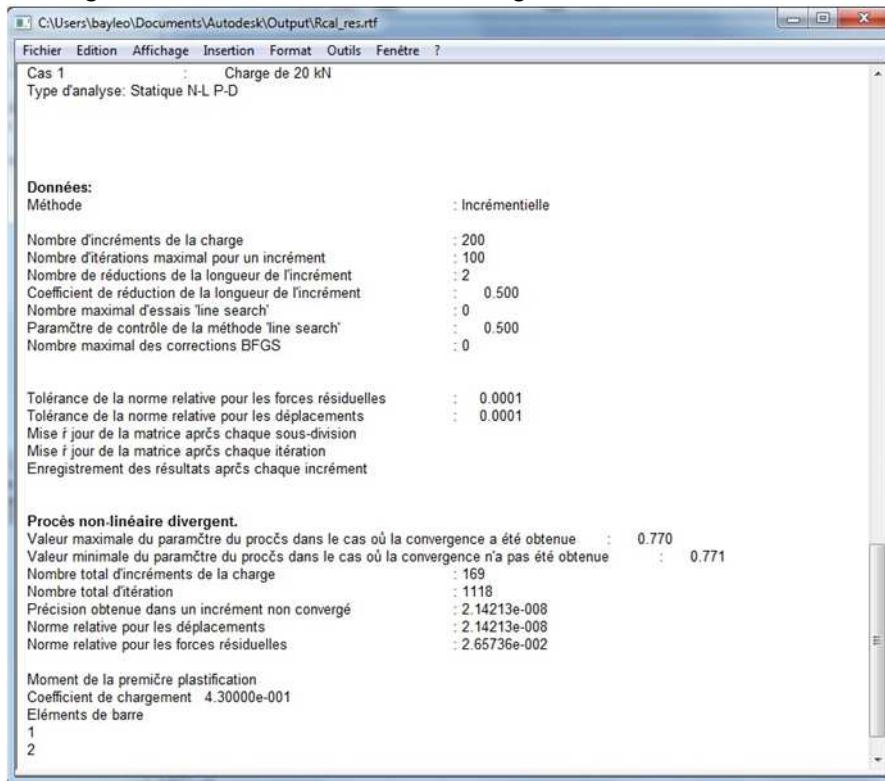
Cas/Pas	Coef.char.	Barre/Point	Coefficient de plastification	FX [kN]	MY [kNm]	S max [MPa]	S min [MPa]
1/ 86	0,4300	1/extr. (2)	0,76	-0,06	-26,87	235,00	-235,00
1/ 86	0,4300	2/orig. (2)	0,76	-0,06	-26,87	235,00	-235,00
1/ 131	0,6550	1/auto x=0,4000	0,76	-0,02	26,86	235,00	-235,00
1/ 131	0,6550	1/auto x=0,4000	0,76	0,00	26,86	235,00	-235,00
1/ 131	0,6550	2/auto x=0,6000	0,76	0,00	26,86	235,00	-235,00
1/ 131	0,6550	2/auto x=0,6000	0,76	-0,02	26,86	235,00	-235,00
1/ 132	0,6600	1/auto x=0,4500	0,76	0,00	26,83	235,00	-235,00
1/ 132	0,6600	1/auto x=0,4500	0,76	-0,01	26,83	235,00	-235,00
1/ 132	0,6600	2/auto x=0,5500	0,76	-0,01	26,83	235,00	-235,00
1/ 132	0,6600	2/auto x=0,5500	0,76	0,00	26,83	235,00	-235,00
1/ 133	0,6650	1/auto x=0,3500	0,76	-0,08	26,91	235,00	-235,00
1/ 133	0,6650	1/auto x=0,3500	0,76	-0,02	26,91	235,00	-235,00
1/ 133	0,6650	2/auto x=0,6500	0,76	-0,02	26,91	235,00	-235,00
1/ 133	0,6650	2/auto x=0,6500	0,76	-0,08	26,91	235,00	-235,00
1/ 139	0,6950	1/auto x=0,5000	0,38	-1,56	26,62	233,79	-235,00
1/ 139	0,6950	2/auto x=0,5000	0,38	-1,56	26,62	233,79	-235,00

On en déduit que la première rotule plastique apparaît au coefficient de charge 0,43 soit une plastification de $0,43 \times 20 = 8,6$ kN/m et une deuxième plastification à 0,655 soit $0,655 \times 20 = 13,1$ kN/m

4.3 -Possibilité de visualiser le processus du calcul :

Dans le menu déroulant "*Analyse / Note de calcul*", sélectionner "*Note de calcul complète*".

A la fin de cette note de calcul, vous trouvez toutes les informations de la méthode incrémentale. Notamment, le coefficient de charge de la première rotule plastique ainsi que le coefficient de charge obtenue lors de la non convergence.



5 - Conclusion :

Si nous comparons les résultats théoriques et les résultats du logiciel, concernant la charge de ruine pour obtenir la deuxième rotule plastique, nous ne constatons aucune différence (soit 13,1 kN/m).

Concernant le coefficient de charge pour obtenir la première rotule, nous obtenons une légère différence (8,6 kN/m au lieu de 8,99 kN/m soit 4,33%).

Comme vous avez pu le voir une analyse élasto-plastique, dépend de beaucoup de paramétrages, et bien sûr la précision des résultats dépendra de ceux-ci :

- nombre de points dans la section,
- nombre de points le long de l'élément,
- le type de loi de comportement,
- les paramètres de l'analyse incrémentale (notamment la taille de l'incrément de charge).