C.13 Compléments liés aux calculs non linéaires

C.13 Compléments liés aux calculs non linéaires

Le présent paragraphe traite à la fois des non-linéarités liées aux lois des matériaux et des non-linéarités dites géométriques.

Il est fréquent d'associer les calculs non-linéaires à des structures complexes telles que les ponts à haubans et suspendus, pourtant ce sujet apparaît dans le quotidien de tout ingénieur structures, par exemple en cas :

- de décollement partiel de semelles de fondations ;
- d'incapacité de certaines barres à reprendre des compressions (voir le § C.2.7 sur les contreventements) ;
- d'un calcul de flambement en béton armé ;
- de cas de sortie du champs de la théorie des poutres (par exemple, le calcul des contraintes dans un contreventement de pont sous son poids propre).

De manière générale, pour tous les calculs non-linéaires, il est important d'effectuer un calcul linéaire avant de prendre en compte la non-linéarité pour comprendre le fonctionnement de la structure et l'effet spécifique de la non-linéarité.

C.13.1 Géométrie théorique et imperfections

La plupart des règlements imposent que les calculs non linéaires intègrent un défaut initial de forme ou d'implantation des éléments. Certains logiciels peuvent intégrer directement ce défaut. Pour d'autres, il faudra soit appliquer un cas de charge qui crée le défaut initial, soit définir la géométrie avec le défaut.

On peut noter que dans un calcul aux éléments finis, le recours à des éléments triangulaires permet toujours de tenir compte de la prédéformation d'une surface plane.

C.13.2 Haubans et câbles

Les haubans et câbles sont des éléments par essence non-linéaires, du fait de leur fonctionnement en traction seule et de l'effet de chaînette qui impose la prise en compte d'un module d'Young "apparent". Ce module est fonction de la tension, de la longueur, de la masse volumique et du module d'Young brut du câble.

Pour les haubans, pour des phases amont de projet, il n'est pas toujours indispensable de prendre en compte ces deux effets ; on pourra alors modéliser le hauban par une barre, idéalement bi-articulée, en prenant soin de négliger le poids propre de la barre ou de l'appliquer directement manuellement aux extrémités. On vérifiera dans l'analyse des résultats que ces barres ne sont pas comprimées.

C.13.3 Zones de non-linéarité matériau

Un premier calcul linéaire permet de repérer les zones où l'on autorisera le comportement non linéaire. Le calcul se poursuivra par itérations successives en intégrant progressivement les non-linéarités.

C.13.4 Flambement et calculs en grands déplacements

- Flambement - calcul des coefficients critiques

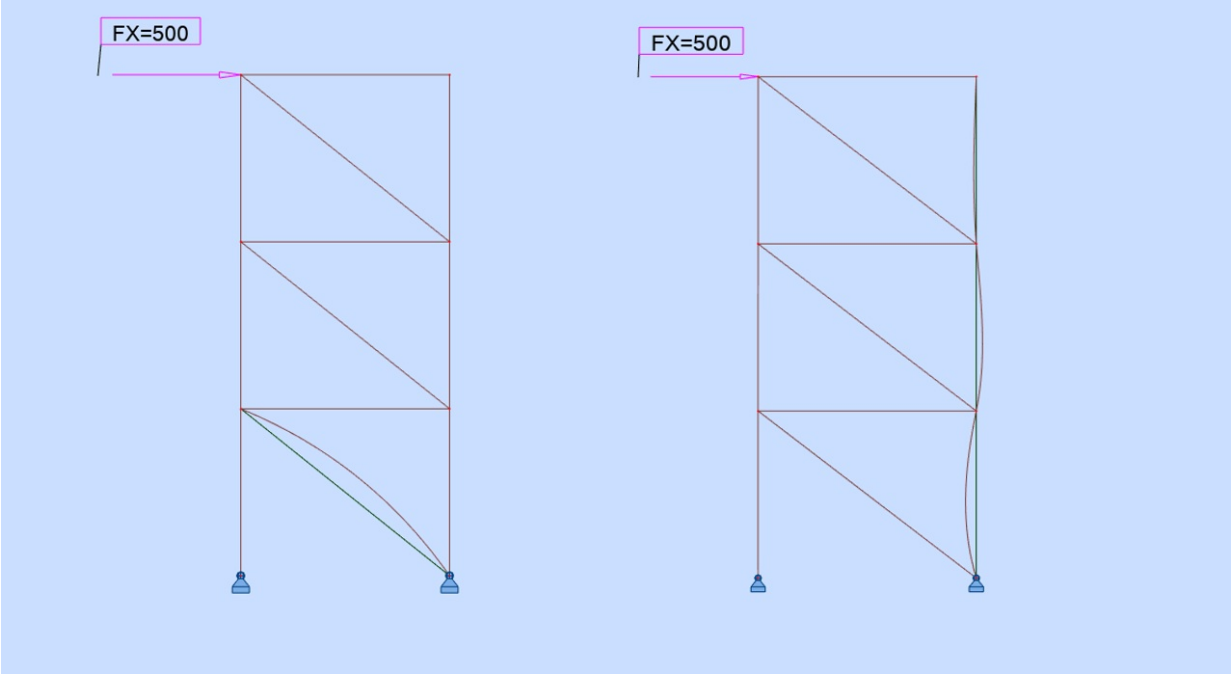
La plupart des logiciels sont capables de déterminer les charges critiques de flambement des barres comprimées (donc les longueurs de flambement des barres composant une structure) à partir d'un calcul modal, en petits, voire en grands déplacements. Il convient d'effectuer les calculs pour chaque combinaison dimensionnante. Un bon nombre de logiciels permettent également d'effectuer les vérifications normatives à partir de ce calcul des charges critiques (ou simplement via une introduction manuelle des longueurs de flambement).

Le calcul des coefficients critiques est basé sur la recherche des valeurs αi telles que le déterminant $Det([Ko]+\alpha i [K\sigma])=0$, où Ko est est la matrice de rigidité associée aux petits déplacements et $[K\sigma]$ la matrice de rigidité associée aux contraintes initiales.

L'objet n'est pas ici de développer toutes les possibilités offertes par les logiciels, mais d'insister (encore une fois) sur le fait qu'il convient de bien comprendre ce que fait son logiciel et quelle est l'incidence de la modification des paramètres de calcul. Un paramètre simple peut être tout simplement la subdivision nécessaire des barres pour obtenir les bons résultats, comme illustré dans l'exemple ci-après.

Illustration sur le portique contreventé du Chapitre C.2. Lien vers l'exemple du calcul des coefficients critiques de flambement.

Ce petit exemple confirme qu'il convient de maîtriser ce que fait l'outil et que, dès lors que l'on sort d'un calcul simple (calcul élastique linéaire, au premier ordre), il faut toujours se recaler sur des exemples simples et traités dans la littérature, par exemple.



Déformées modales

- Calculs en grands déplacements:

Ces calculs nécessitent la mise à jour des matrices de rigidité à chaque itération, que l'on soit en béton armé ou en métal. Ce qui est dit pour le calcul des coefficients critiques de flambement ci-avant quant à la maîtrise des paramètres du logiciel, reste parfaitement applicable.

Nous renvoyons à deux articles intéressants sur le sujet:

- Calcul au flambement des arcs - Comparaison entre un calcul approché et un calcul en grands déplacements du Bulletin Ouvrages d'art n°32“ - Lien vers l'article.

- Instabilité par flambement des arcs (CTICM) - Lien vers l'article.

Révision #1
★Créé 11 December 2023 17:29:06 par Paul Terrasson Duvernon
Mis à jour 11 December 2023 17:29:58 par Paul Terrasson Duvernon