C.3 Mise en œuvre

C.3 Mise en œuvre

La bonne méthode consiste toujours à procéder par étape et à ne pas introduire toutes les non-linéarités simultanément :

- faire un premier calcul avec une loi élastique avant d'utiliser une loi non-linéaire ;
- faire un calcul sans contact avant de le mettre en œuvre, faire un calcul avec frottement nul avant d'inclure le frottement, ...

Toutes les étapes doivent être vérifiées proprement et il est nécessaire de vérifier que la solution converge lorsqu'on raffine le maillage et le pas de temps.

Enfin, il faut avoir à l'esprit que, dans les cas non-linéaires, il est possible que le problème à résoudre ne possède pas une solution unique (instabilité, bifurcation, etc.).

1) Choix de la discrétisation

La discrétisation doit être choisie avec soin de manière à être cohérente avec les chargements que l'on souhaite appliquer, notamment si ceux-ci ne sont pas monotones.

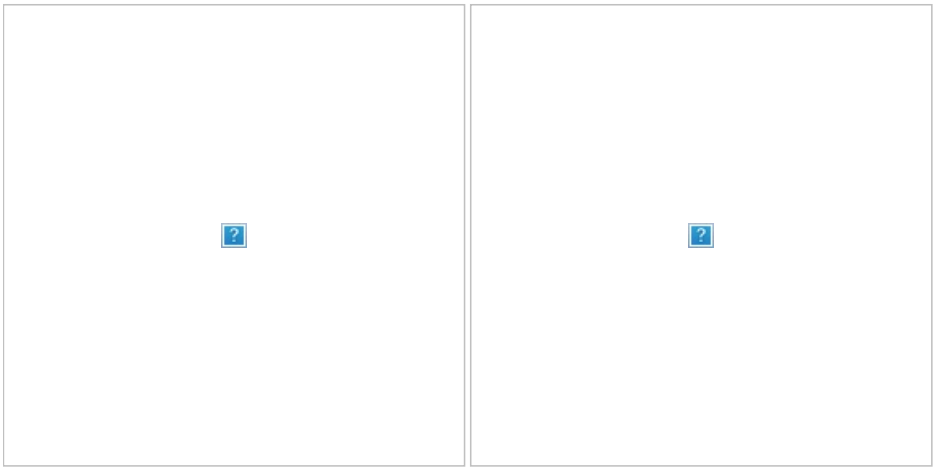
Plus les non-linéarités sont importantes, plus il faut utiliser des incréments de chargement petits. De même, si le modèle de comportement est complexe, il arrive que l'intégration de la loi de comportement ne soit pas totalement implicite : dans ce cas, il faut vraiment vérifier que les incréments sont suffisamment petits pour que le modèle ait convergé.

Selon les codes de calcul, une gestion plus ou moins automatique de ces pas de temps peut être proposée qui peut permettre de diminuer le pas de temps en cas de problème de convergence voire de l'augmenter si les non-linéarités sont faibles et que la convergence est très rapide. En toute rigueur, il convient de vérifier que la convergence en temps est bien atteinte en effectuant un deuxième calcul en diminuant les incréments de chargement.

2) Choix des conditions aux limites

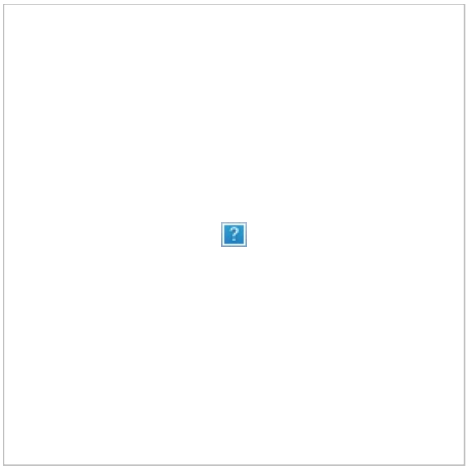
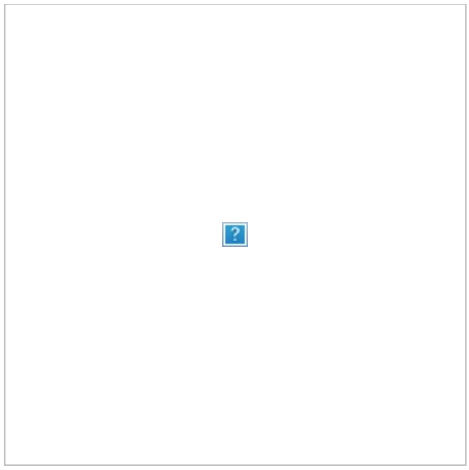
Il faut avoir conscience que, dans le cas d'une loi de comportement de type adoucissante ou s'il existe une charge limite, le chargement à force imposée peut devenir illicite, comme illustré sur la figure ci-dessous.

Dans le premier cas, plus la force imposée s'approche de la charge limite, plus la convergence sera difficile, jusqu'à être impossible, si l'on cherche à la dépasser. Et dans le deuxième cas, il sera impossible de dépasser l'effort au pic et d'obtenir la solution post-pic.



Exemples de réponse avec charge limite ou perte de rigidité

Il existe également d'autres cas, où il n'existe pas une solution unique à effort donné ou déplacement donné. C'est le cas, par exemple dans le cas de flambement de coque mince ou lorsque le problème est tel qu'il existe des bifurcations, par exemple une branche dissipative et une branche élastique (cf. figure ci-dessous).

Réponse (a) avec branches multiples (b) non-monotone en déplacement et chargement

Si la modélisation correcte nécessite d'appliquer une force imposée, le problème peut être résolu via des méthodes de continuation ou de longueur d'arc (cf. documentation Code_Aster [R5.03.80] par exemple).

Pour qu'un code de calcul puisse travailler efficacement, il est donc nécessaire de concevoir son modèle, et de préparer les données, de telle façon qu'on travaille à la recherche d'une solution unique, en introduisant diverses restrictions, comme :

- l'exigence d'un équilibre stable (en un sens à préciser !),
- équilibre avec une condition de « moindre énergie de déformation plastique »,
- équilibre avec une condition de « moindre courbure moyenne »,
- équilibre avec une condition de « moindre contraste entre les réactions d'appui » ...

3) Évaluation de la convergence de l'algorithme global non-linéaire

Les critères d'arrêt pour l'algorithme de Newton sont à considérer avec attention. Il convient de vérifier avec soin quel critère d'arrêt est programmé par défaut ou proposé par le logiciel utilisé. Par exemple, certains algorithmes vont tester la convergence sur la norme du résidu (dans ce cas, le critère dépend de l'unité de force utilisée dans le calcul, la précision n'est pas la même si le résidu requis est 1N ou 1MN), d'autres proposeront un critère d'arrêt où la norme du résidu est rapporté à la norme du chargement (dans ce cas, on s'affranchit de l'unité physique choisie). Des précautions toutes particulières doivent être prises dans les cas où on mélange différentes modélisations (massifs, éléments de structures) ou lorsqu'on utilise des éléments mixtes.

De manière générale, il faut faire très attention lorsqu'on dégrade le critère de convergence par rapport à la valeur recommandée pour aboutir à un résultat.

Révision #1
★Créé 8 December 2023 11:35:52 par Paul Terrasson Duvernon
✎Mis à jour 12 December 2023 10:44:00 par Paul Terrasson Duvernon