D.1 Généralités sur les calculs numériques

D.1 Généralités sur les calculs numériques

D.1.1 Temps de calcul

Le temps de calcul (au sens large : résolution du système d'équations et stockage des résultats) est un point primordial dans la réflexion à associer à une modélisation aux Eléments Finis.

Il doit rester compatible avec le budget et le délai associés au projet. La recherche d'un temps de calcul optimisé est même un des éléments clés de l'économie d'un projet.

Le temps de calcul est influencé par différents facteurs.

- Le modèle aux éléments finis :
  - Nombre de degrés de liberté ;
  - Formulation des éléments, nombre de points d'intégration.

Des moyens d'optimisation peuvent être l'utilisation de modèles simplifiés, de sous-modèles, de sous-structures, de symétries, de tailles de mailles adaptées localement. Attention toutefois pour les calculs explicites, le pas de temps est calé sur la dimension du plus petit élément.

- Les moyens informatiques :
  - la mémoire vive (stockage temporaire) ;
  - le système d'exploitation (32 ou 64 bits) ;
  - le calcul est-il fait en local (sur le poste de l'utilisateur) ? sur un serveur local ? sur un serveur externe ? Les temps de copie du modèle et des résultats peuvent s'avérer longs, de même que le temps associé à la liste d'attente des autres calculs lancés sur un même serveur ;
  - la capacité et le nombre de processeurs : on vérifiera le « temps CPU » (Central Processing Unit) généralement fourni par le logiciel.

L'optimisation, pour un moyen informatique donné, peut consister à effectuer le calcul en batch (lancement du calcul en lignes de commande sans l'interface), à paralléliser les calculs (sur plusieurs cœurs de processeurs) et/ou à effectuer des poursuites de calcul, si le logiciel le permet.

- Le type d'analyse :
  - Linéaire/non-linéaire et les algorithmes de résolution associés ;
  - Méthode d'intégration numérique (intégration directe/projection sur base modale, schéma implicite/explicite) et le choix du solveur pour les calculs en dynamique.

Le type d'analyse est logiquement associé au problème à résoudre et à la précision souhaitée des résultats ; l'optimisation est donc laissée à la charge du modélisateur. On souligne toutefois que dans le cas d'un calcul transitoire, la durée du calcul (en termes de chargement et réponse de la structure) ne doit pas être surévaluée pour ne pas impliquer de durée de calcul (temps machine) superflue.

- L'anticipation des « post-traitements » :
  - pour certains logiciels, il est possible de ne sélectionner (et conserver) que les grandeurs d'intérêts choisies par l'utilisateur, de même que les instants (dans le cas de calculs transitoires ou par phases) : le temps machine d'écriture des résultats s'en trouve réduit ;
  - le nombre de modes à sauvegarder/réutiliser dans le cas d'une analyse modale peut généralement être modifié (définition des filtres variables selon les logiciels) ;
  - la visualisation en temps réel des résultats peut permettre de stopper un calcul en cours (mais elle entraîne généralement une augmentation des durées de calcul) ;
  - l'analyse des résultats peut être effectuée à l'aide de post-processeurs indépendants du logiciel de calcul aux Éléments Finis pour réduire les temps d'exploitation.

L'automatisation du calcul et des post-traitements (après validation du premier tour de calcul et avec une utilisation réfléchie incluant les vérifications appropriées) s'avère intéressante lorsque l'on considère que l'utilisateur va être amené à réaliser plusieurs fois le même calcul sur différents modèles ou des calculs similaires sur un même modèle.

L'acceptabilité du temps de calcul doit être appréciée en intégrant le fait que le modèle va tourner de nombreuses fois et va se complexifier au fur et à mesure des phases d'étude.

D.1.2 Convergence du logiciel – Cas des calculs élastiques directs

Dans les calculs élastiques directs (calcul statique linéaire et calcul modal spectral), il y a très peu de raisons pour que le logiciel ne converge pas :

- soit la structure est instable ;
- soit l'inversion de la matrice de raideur est rendue impossible par des écarts de rigidité trop grands entre les éléments.

Tous les messages d'erreur, à ce stade, sont liés à ces deux cas.

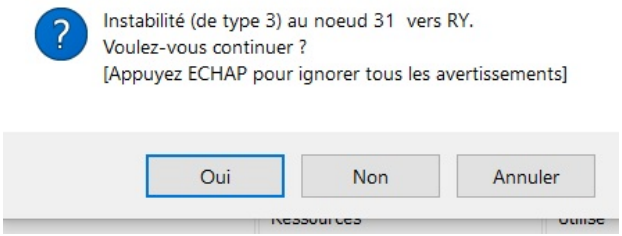
Du fait des conditions aux limites mises en place, certains déplacements, translation(s) et/ou rotation(s) de nœuds de la structure sont imposés (un blocage est un déplacement imposé nul). L'ensemble de ces déplacements bloqués peut

cependant apparaître insuffisant pour empêcher un mouvement d'ensemble de la structure.

Il convient, en se plaçant dans un repère approprié, d'analyser les effets de l'ensemble des déplacements imposés sur les mouvements d'ensemble de la structure et d'ajouter éventuellement un ou plusieurs blocages afin d'assurer la stabilité de la structure. On vérifiera à la fin de l'exécution des calculs que les réactions au droit de ces blocages supplémentaires sont nulles ou négligeables ; effort pour un blocage en déplacement, moment pour un blocage en rotation.

Certains logiciels, pour certaines configurations géométriques de structures, passent outre ce problème d'instabilité ; dans ce cas, les contraintes et les déformations sont correctes mais certains déplacements sont quelque peu déraisonnables. Une autre instabilité souvent rencontrée concerne la liaison de types d'éléments structuraux différents est précisée au paragraphe C.6.3.

> Il est à noter que les messages d'erreur des logiciels sont parfois peu explicites sur le caractère global, local et/ou numérique des instabilités.
>
> ⚠ En outre certains logiciels permettent d'aller au bout du calcul malgré un message d'avertissement ou d'erreur. Ceci peut éventuellement aider à comprendre ou visualiser d'où vient le problème, mais on ne saurait se satisfaire des résultats obtenus dans ce cadre.
>
> Il convient, *in fine*, d'arriver à un modèle qui tourne sans erreurs.



Ces problèmes d'instabilités globales et locales peuvent être détectés en procédant à de simples calculs :

- soit des calculs statiques linéaires en appliquant une accélération globale (10 m/s^2 par exemple) à la structure ; on peut créer trois cas de charges selon les 3 directions principales ;
- soit à un calcul modal (détermination des premières fréquences propres).

Si la structure présente des instabilités globales, le calcul statique a peu de chances d'aboutir tandis que le calcul modal présentera des modes rigides.

Si la structure présente des discontinuités, ces dernières seront mises en évidence par l'observation de l'allure de la déformée ou des modes propres. Attention, la prise en compte des déformées d'effort tranchant conduit à des ruptures d'allures de déformées.

D.1.3 Convergence du logiciel – Cas des calculs itératifs

Pour les calculs non-linéaires, la convergence d'un calcul aux Eléments Finis est atteinte lors de l'obtention d'une fonction interpolant la solution pour chacun des éléments finis (principe de la discrétisation).

Les critères de convergence sont soit donnés par le calculateur, soit pris par défaut par le logiciel. Le calcul aux éléments finis consiste en une série d'itérations et il s'arrête soit quand le nombre maximum d'itérations prédéfini a été atteint, soit quand certaines mesures d'écart entre deux itérations successives sont inférieures à des seuils prédéfinis (c'est ce qu'on appelle les critères de convergence).

Par contre, ce n'est pas parce que le calcul s'arrête qu'il a convergé vers une solution valide. Par exemple, des critères de déformations trop lâches par rapport à la réalité ou un nombre maximum d'itérations trop faible peuvent fournir un résultat très éloigné de la réalité.

D.1.4 Convergence du modèle

On considère qu'on a atteint la convergence d'un modèle, quand une faible modification de la taille et de la répartition des mailles ne vient pas perturber sensiblement les résultats.

En toute rigueur, il est conseillé d'effectuer une étude de sensibilité du maillage sur les grandeurs post-traitées; ainsi, effectuer la même analyse sur différents maillages (réduction de la taille de maille, par exemple), devrait - si ce n'est fournir des résultats similaires (tolérance à apprécier) - converger vers une solution acceptable par l'utilisateur. On veillera à ne pas raisonner sur les valeurs de pics et à ne pas oublier que plusieurs raffinements successifs de mailles peuvent conduire à une divergence des résultats.

Il convient également d'analyser les messages d'alerte du logiciel (« Warning » sur la taille ou la forme des mailles) pour estimer s'ils sont de nature à altérer les résultats.

Révision #1
★Créé 11 December 2023 17:38:40 par Paul Terrasson Duvernon
✎Mis à jour 11 December 2023 17:39:57 par Paul Terrasson Duvernon