

## **Quelques éléments pour vous aider dans la rédaction d'une note de calcul numérique**

Le but de cette note est de vous donner un certain nombre de conseils généraux utiles à la rédaction d'un rapport qui soit à la fois précis, complet, et suffisamment concis. Celui-ci devant pouvoir être utilisé et assimilé par une personne n'ayant pas suivi votre travail.

### **1) Introduction**

Elle doit définir les objectifs de l'étude, le cadre du problème, éventuellement un état des connaissances dans le domaine (résumé des travaux précédents les plus importants), et les choix effectués en fonction du cahier des charges. Elle doit aboutir à la définition du but du travail proposé, et en fin d'introduction, le lecteur doit savoir ce qu'il va trouver dans le rapport, ce que vous allez faire : le problème doit être correctement posé. On donnera ici également la précision de calcul qui aura été demandée, en la justifiant par des éléments du contexte de l'étude.

### **2) Théorie et mise en équations**

Vous allez ici introduire votre approche du sujet, le modèle que vous avez construit ou utilisé, rappeler les hypothèses de base, préciser la démarche que vous avez suivie, les méthodes et les outils que vous avez utilisés.

On va donc préciser ici :

- le logiciel de calcul utilisé (ici ANSYS Mechanical Workbench 15.0) ;
- le type de simulation menée (calcul de structure, thermique,...), le type d'analyse (stationnaire, transitoire, dynamique,...), en justifiant vos choix ;
- la dimension utilisée pour votre simulation (3D, 2D, voire 1D) en justifiant le pourquoi ;
- le matériau utilisé, son comportement (élastique linéaire, plastique, visco-élastique,...) et ses caractéristiques mécaniques (densité, module élastique, coefficient de Poisson,...) utilisés pour le calcul ;
- les équations ou relations de base (Principe Fondamental de la Dynamique, les équations de Lagrange, les lois de comportement, etc...). Pour ces équations il faut rappeler, si ce n'est déjà fait, les hypothèses de validité, les notations, et les numéroter si elles sont réutilisées par la suite.

Une analyse de la géométrie de la structure, précisant les zones éventuelles de concentrations de contraintes, les « points faibles », ceux qui vont subir le maximum de chargement, etc., est également présentée ici. Puis l'enchaînement des étapes de calculs est expliqué et justifié. Toutes les hypothèses ou choix, que vous avez dû introduire lors de la construction de votre modèle, doivent être mis en évidence, et justifiés. Vous devez également préciser les conséquences que cela entraîne (nouvelles limites du modèle, calculs complémentaires qui permettraient de vérifier la validité de telle hypothèse, etc...).

### **3) Paramètres du calcul**

On précise ici toutes les étapes de pré-processing, à savoir :

- la géométrie de la pièce (fournie ou pas, sous quel format (.igs, .stp, fichier CAO,...), si construite par vous, sous quel logiciel,...), éventuellement les simplifications apportées à la géométrie (utilisation des symétries pour ne modéliser qu'une partie de la pièce, utilisation d'un 'submodèle', etc.) et les conséquences sur les résultats ;
- le type de maillage employé (type d'éléments, fonction de forme associée), sa construction (grossier sur certaines zones, affiné ailleurs,...) et les conséquences de votre choix. On précisera ici le nombre de nœuds et d'éléments dans le modèle, et le nombre d'itérations qui auront été nécessaires pour arriver à un maillage optimisé contenant le nombre approprié de nœuds nécessaire pour obtenir la précision de calcul demandée ;
- les conditions aux limites que vous avez appliqués au modèle, pourquoi vous les avez appliqués en ces points, et là encore les conséquences éventuelles sur les résultats (concentration de contraintes ne reflétant pas la réalité, etc.) ;
- le chargement appliqué : type (mécanique, thermique, vibratoire, inertie, gravité,...), la façon dont le chargement est appliqué (statique, transitoire (fct du temps), dynamique (temps très courts)), les conditions initiales (s'il y a lieu : pré-tension dans un boulonnage, température initiale pour un chargement thermique,...) où (chargement ponctuel, réparti,...), les simplifications éventuellement adoptées,... ;
- s'il y a lieu, une description des méthodes (ou solutions constructives, etc.), introduites ou inventées par l'auteur, qui permettent d'obtenir des résultats nouveaux.

On précisera également les résultats demandés dans l'analyse (contrainte équivalente, contraintes principales, déformations, déplacements, efforts, etc.), en justifiant votre choix par rapport au problème posé (quelles réponses cherchent-on à obtenir grâce à cette analyse ?).

#### **4) Résultats numériques ou expérimentaux**

Il faut surtout NE PAS METTRE LES RESULTATS EN VRAC, ni sous forme de listing. L'analyse, puis la synthèse des résultats, doivent être rédigée, et peut être présentée dans des tableaux et/ou visualisée par des courbes. Le tout devant conduire le lecteur aux résultats et conclusions que vous souhaitez mettre en évidence, qui seront exposés dans la conclusion de la note de calcul.

Il faut ici exposer les résultats exacts de l'étude, avec des preuves, et éviter les spéculations (pas de "probablement, on pourrait, à peu près,...") !

On précisera dans cette partie, dans un premier temps, des données sur le calcul en lui-même :

- méthode de dépouillement utilisée, avec éventuellement les problèmes rencontrés (non convergence dans certaines zones, incompatibilité de déplacements aux frontières de certains éléments, etc.) ;
- les erreurs possibles dans votre calcul, et leurs conséquences sur les conclusions ;
- les limitations techniques (nombre de nœuds trop importants pour le logiciel, temps de calcul excessivement long,...) ou théoriques (couplage non pris en compte, ou bien séparément, non prise en compte de certains chargements,...).

Vous devrez ici prouver la qualité et la précision des résultats (par ex. périodicité, 2D, influence du maillage de calcul, ...), qui sont des données importantes pour obtenir des résultats valables

Puis on présentera les résultats par eux-mêmes, d'abord sous forme d'une vue d'ensemble des travaux effectués, puis en faisant un choix des résultats importants ou représentatifs (le reste des résultats sera alors présenté dans une annexe !). Les résultats retenus seront ensuite présentés (décrits, un tableau ou un graphe ne suffisent pas !) et discutés pour en tirer les conséquences, en faisant ressortir les buts de l'étude. N'oubliez pas que chaque tableau ou courbe doit être numéroté, pour pouvoir être référencé dans le texte, et que vous devez expliquer leur intérêt relativement à l'analyse de l'ensemble des résultats obtenus. Toute donnée présentée et non discutée ne sert à rien, et n'a pas à faire partie du rapport !

On pourra ensuite passer à l'analyse des résultats, c'est-à-dire :

- donner les explications des résultats (il ne suffit pas de décrire ce que l'on voit sur les diagrammes),
- tirer les conclusions à partir des résultats qui permettent de dériver des lois ou des modèles physiques,
- comparer avec des modèles théoriques et avec les résultats obtenus par d'autres personnes avant vous, et éventuellement prouver les améliorations ou élargissements des connaissances à partir de vos résultats,
- apporter une réponse, ou du moins un début de réponses, ou des recommandations, au problème défini en introduction (sans vous appesantir ici, car ces informations seront reprises dans la conclusion de l'étude).

Retenez bien ici qu'il ne suffit pas d'affirmer, mais qu'il faut donner des preuves convaincantes de ce que vous avancez !

Et surtout, pour cette partie, pensez bien à :

- vérifiez que l'ordre de grandeur de vos résultats n'est pas aberrant, et que vos résultats satisfont les hypothèses de votre modèle.
- n'oubliez pas les unités, et la précision (incertitudes) des résultats donnés,
- séparez ce qui est présentation des résultats de l'analyse que vous en faites,
- n'occultez pas les résultats bizarres (après, bien sûr, les avoir vérifiés et analysés),
- si besoin, les résultats secondaires (listings partiels, graphiques, courbes, etc...) seront reportés en annexe.

## **5) Conclusion**

Un des chapitres les plus importants d'un rapport ! Elle doit reprendre l'ensemble du travail effectué, et les résultats obtenus, elle donne les réponses aux questions qui étaient posées dans l'introduction, en répondant aux objectifs du calcul : toutes les questions posées dans l'introduction doivent avoir trouvé une réponse.

A partir des diverses remarques ou conclusions partielles du rapport, tirez ici les conclusions générales se reportant aux objectifs, atteints ou non, de l'étude.

Il peut enfin être souhaitable d'élargir le point de vue, en proposant des études complémentaires.

### **Notation compte rendu – note de calcul pour TP de simulation numérique :**

Chacun des points suivants sera évalué de A à E (A = 3 pts, B = 2.5 pts, C = 2pts, D = 1pt, E=0) :

- Présentation générale de la note de calcul (rédaction, phrases, style télégraphique, fautes d'orthographe,...)
- Mise en valeur de l'étude (présentation du problème, clarté d'exposition de ce qui a été fait, et pourquoi,...)
- Explications des hypothèses de calcul choisies (type d'analyse, conditions aux limites,...)
- Optimisation du maillage (sur quelles bases, à quels endroits, adéquation avec le cas,...)
- Présentation des résultats (façon de rédiger, tableaux, pertinence des graphes fournis, et des propriétés présentées,...)
- Discussion des résultats