

Conception, re-conception, fabrication : les apports de la simulation numérique

L'apport d'un logiciel de simulation permet des gains de temps et d'argent significatif au niveau des études.

La simulation numérique est aujourd'hui un outil essentiel du bureau d'étude. Du pré-dimensionnement au calcul spécialisé, les logiciels du marché sont capables de simuler à peu près tous les phénomènes physiques en mécanique, magnétisme, fluide, acoustique ... tant au niveau d'une pièce, que d'un ensemble de pièces, ou d'un process. Pour des problèmes techniques très pointus, des modèles spécifiques sont développés dans les laboratoires de recherche des Universités.

Sommaire

P.II

- Principe et Méthodologie

- Applications en conception

P.III

- Applications en re-conception

P.IV

- Applications en fabrication
- Les évolutions en matière de simulation

Principes et méthodologie

Principes

Depuis une dizaine d'années, les performances des ordinateurs et l'évolution des logiciels d'Eléments Finis permettent de simuler les systèmes mécaniques au plus près du réel. La finesse des modèles permettent d'accroître la précision des résultats, avec des temps de calculs de plus en plus réduits. D'autre part, l'étude des problèmes couplés (thermo - mécanique, fluide - structure, piézo - électrique, magnéto - mécanique,...) est devenue abordable grâce à des logiciels plus performants, plus conviviaux, mieux couplés à la CAO, et à des ordinateurs plus rapides (fréquence et mémoire élevées).

La méthode des Eléments Finis est issue de développements mathématiques qui consistent schématiquement à découper (discrétiser) un problème complexe en un grand nombre de problèmes simples.

Première étape : modéliser et discrétiser sa pièce

Le spécialiste cherchera à modéliser le système qu'il veut analyser. Il commencera par définir le type d'analyse

(statique, dynamique, thermique, couplée, ...) qu'il va utiliser.

Ensuite, il discrétisera la pièce - chaque pièce, dans le cas d'un assemblage - en éléments simples (barres, plaques, briques,...). Cette première étape est le plus souvent réalisée automatiquement mais peut être adaptée. De sa qualité dépend la précision (fin signifie précis), le temps de calcul et la place mémoire (qui grossissent avec la finesse globale du modèle). Le concepteur cherchera un bon compromis qualité / coût / délai.

Seconde étape : appliquer les forces extérieures

La seconde étape consiste à définir le chargement c'est à dire les appuis et les forces (les pressions, les températures, ...). C'est ici que le savoir faire est le plus important car le passage de la réalité au modèle numérique se fait par des estimations (hypothèses du spécialiste). De cette étape dépend la pertinence des résultats.

Troisième étape : résoudre son problème

La troisième étape est la résolution. Il ne s'agit, ici, que de définir les bonnes options du logiciel et lancer la résolution

qui s'effectue automatiquement. C'est un problème complexe de mathématiques appliquées, principalement du calcul matriciel.

Quatrième étape : visualiser et exploiter les résultats

La quatrième et dernière étape est le post-processeur. On y observe les résultats sous une grande variété de formes. La structure déformée est celle que tout le monde peut appréhender, mais le spécialiste a besoin d'observer bien d'autres variables (contraintes, déformations, réactions des appuis, températures,...). Son premier souci est de chercher les résultats qui lui indiqueront la pertinence de ses choix et, éventuellement, quoi modifier dans son modèle pour relancer une nouvelle (meilleure) étude. Ensuite, il transmettra ses résultats sous une forme explicite (justification du modèle et résultats directement exploitables) à ses partenaires car en Eléments Finis, il ne faut pas toujours croire ce que l'on voit : les modèles sont à remettre en question à l'issue de chaque calcul. Elle est affaire de spécialiste. La démarche par Eléments Finis est le plus souvent itérative pour converger finalement vers une solution satisfaisante.

Applications

En conception

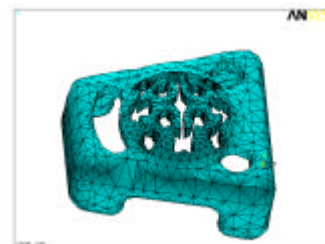
Après avoir dessiné un premier concept de son système, l'utilisation de la méthode par Eléments Finis permet de prévoir rapidement la répartition des contraintes au sein de sa pièce. Grâce à plusieurs calculs, on peut approcher une solution optimale en terme de performance technique et de coûts. Cette méthode permet ainsi de comparer différentes solutions techniques sans avoir à fabriquer un seul prototype (encadré 1). Plus la pièce et son chargement sont complexes, plus il est intéressant et économique d'utiliser la méthode par Eléments Finis. Ce cas est classiquement rencontré en Haute-Technologie (encadré 2) mais aussi en mécanique traditionnelle notamment pour mener une analyse vibratoire (figure 1).

- La méthode par Eléments Finis ne s'applique pas uniquement au domaine de la mécanique et s'applique aussi au domaine de l'électromagnétisme. L'optimisation par le logiciel ANSYS de la forme d'usure de cibles d'une cathode magnétron en est une excellente application (encadré 3)

Encadré 1 : conception et optimisation d'un implant intersomatique

Une société fabricant des implants orthopédiques et l'instrumentation associée a décidé de diversifier sa gamme de produits essentiellement tournée vers le membre inférieur (Hanche et Genou) en développant de nouveaux implants pour les pathologies du dos. C'est en collaboration avec un laboratoire de recherche en mécanique de l'Université de Savoie qu'un nouveau concept d'implant a été développé.

Ces implants, fabriqués en Titane ou en polymères sont destinés à remplacer le disque intervertébral et à soulager les patients souffrant de hernies discales en créant une fusion des vertèbres. Cette nouvelle génération de « cages cervicales » doit se déformer afin de reproduire le plus fidèlement possible l'anatomie de la vertèbre. Après une pré-conception de l'implant avec le logiciel PRO-ENGINEER, la déformabilité de la cage ainsi que sa résistance aux différentes sollicitations du corps humain ont été testées par de nombreuses simulations Eléments Finis sur le logiciel ANSYS.



Encadré 2 : conception de détecteurs soumis à des environnements sévères

Les expériences de physique des particules dans des accélérateurs ou embarquées sur satellites sont des objets technologiques très complexes. Des simulations par Eléments Finis sont utilisées pour optimiser les performances des détecteurs présents, ainsi que les caractéristiques de l'électronique ou les structures mécaniques qui les composent.

Pour obtenir un détecteur performant, il est impératif de minimiser les épaisseurs de matière traversée par des particules, de maîtriser les déformations des structures, et réduire le plus possible la masse de ces objets qui peuvent être satellisés. Des solutions originales basées sur des matériaux composites sont recherchées.

Pour concevoir ces détecteurs et d'autres structures soumis à des environnements extrêmes en service (vide, contraintes thermiques fortes), le Bureau d'Etude du Laboratoire de Physique des Particules d'Annecy-le-Vieux utilise les logiciels SYSTUS et SAMCEF basés sur la méthode des Eléments Finis. Il n'est pas rare de modéliser sa structure avec plusieurs milliers d'éléments.

Encadré 3 : étude d'une cathode magnétron

Dans le but d'optimiser la zone d'usure de cibles d'une cathode magnétron, le modèle de simulation basé sur ANSYS a permis de définir dans un premier temps la forme des lignes du champ magnétique sur une cathode existante. Cette simulation a été validée par des mesures expérimentales menées à l'aide d'un Gaussmètre. Pour avoir une usure correcte et étendue de la cible, les lignes de champs magnétique doivent être parallèles à la surface de la cible. Diverses simulations ont été réalisées dans le but de valider les modifications imaginées sur la cathode. La structure retenue a permis d'augmenter très significativement la surface d'usure des cibles. (travaux réalisés par un laboratoire de recherche sur les matériaux de l'Université de Savoie).

Figure 1 : déformation d'une équerre soumise à des vibrations



En re-conception

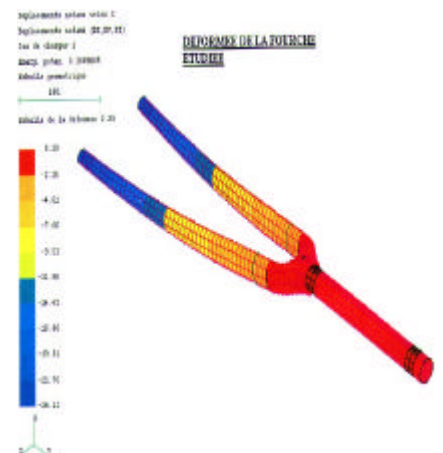
Dans le cadre de la recherche de gains de productivité, la simulation de résistance des matériaux est un outil précieux. Pour diminuer le coût de la pièce, on peut réduire certaines cotes, rendre des formes plus facilement usinables, ou choisir un matériau moins onéreux. Mais quelle sera l'incidence sur la résistance de la pièce ? La simulation permet de répondre rapidement à cette question sans avoir besoin de fabriquer de prototype.

Pour résoudre des problèmes qualité, ou améliorer la performance (cas d'une pièce trop lourde ou fragile – voir encadré 4), la simulation est aussi intéressante. Si une pièce casse sous charge à des valeurs trop faibles, le logiciel permettra de tester plusieurs solutions de re-conception (ajout de rayons de raccordement, renforcements localisés, changement de matériau ...).

Encadré 4 : re-conception d'une fourche de vélo en carbone/epoxy

La problématique de la re-conception d'une fourche de vélo concerne le remplacement d'une pièce en matériaux traditionnels par des matériaux composites. Après une recherche préalable de types de matériaux à retenir, le dimensionnement consiste en la redéfinition complète des formes géométriques (par rapport aux solutions traditionnelles), puis en la détermination de nouvelles solutions intégrant le choix des constituants, les orientations des renforts, ... Pour la fourche, cette démarche conduit par exemple au remplacement d'un pivot en acier par un pivot en composite carbone, puis en la proposition d'un système d'amortissement des vibrations par modification de formes des fourreaux. La prise en compte de la spécificité des constituants du composite est faite avec des outils numériques spécifiques

d'analyse multi-échelle (de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique : homogénéisation, outils micro-macro, ...) développés par l'Université de Savoie au sein de son Laboratoire de Recherche sur les composites.



En fabrication

La fabrication des pièces par déformation plastique de la matière nécessite de choisir des machines adaptées en terme de puissance.

Le choix d'une presse pour réaliser un emmanchement peut, par exemple, être fait grâce à la simulation (figure 2). Le logiciel de simulation permet de connaître les efforts qu'il faudra développer pour déformer la pièce et permettra de visualiser le retrait de la matière après relâchement.

Dans le cas d'un implant mécaniquement optimisé (voir encadré 1), la conception des outillages et des paramètres optimaux de la fabrication ont été définis avec le logiciel par Eléments Finis ABAQUS (figure 3), avec l'expertise en emboutissage disponible au sein d'un Laboratoire de Mécanique de l'Université de Savoie.

Figure 2 : simulation d'un emmanchement

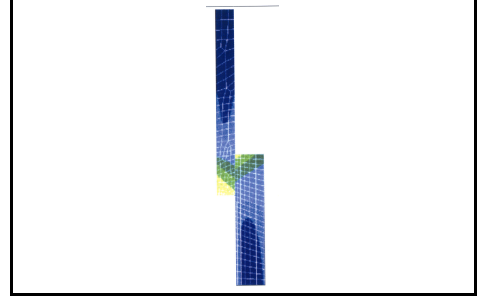
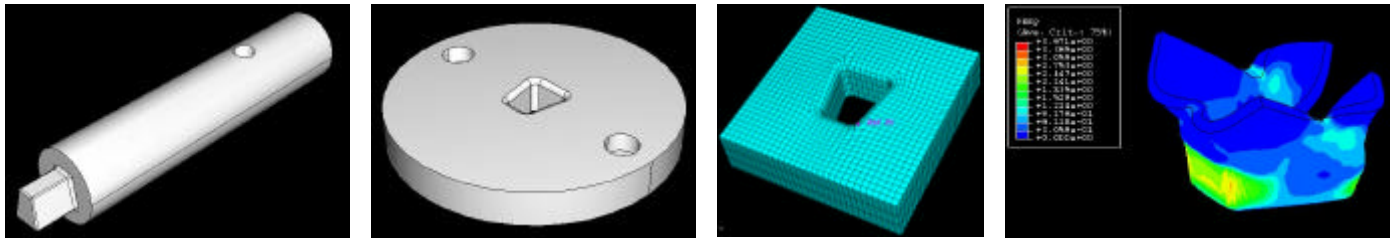


Figure 3 : conception des outillages pour l'optimisation du procédé d'emboutissage d'un implant



Les évolutions en matière de simulation

L'évolution rapide de la puissance des PC permet d'accéder aujourd'hui à tout industriel aux techniques de calculs par Eléments Finis, ce qui n'était possible auparavant que sur de très grosses machines, donc réservé aux grands groupes industriels. Aujourd'hui, ces outils se « démocratisent » donc de plus en plus avec des degrés de précision tout à fait satisfaisants dans la plupart des cas.

Afin d'améliorer encore plus les performances de cette méthode et des outils qui la supporte, beaucoup de possibilités de développement demeurent. Elles concernent principalement les points suivants (source : Harvest mai 2001, n°64) :

- Au niveau des bases de données matériaux : intégration de nouvelles lois de comportement.
- Accroissement de l'espace mémoire nécessaire au calcul et diminution des durées de calcul. La parade retenue jusqu'alors consistait à utiliser des lois de comportement simplifiées, elle n'est plus accessible. On demande toujours plus de précision dans les résultats et les comportements sont de plus en plus complexes à formaliser. En particulier, à ce jour la modélisation des micro-défauts et porosités présents dans les matériaux (non-homogénéité) n'est pas encore prise en compte dans les logiciels commerciaux et les paramètres liés à l'endommagement sont inexistantes. A ce niveau, des outils spécifiques sont développés dans les

laboratoires de recherche, notamment à l'Université de Savoie.

Les pistes recherchées reposent sur le développement des architectures parallèles comme le clustering sur Linux et l'arrivée des premiers codes développés en langage objet.

- Faciliter la préparation et l'exploitation des résultats issus des logiciels de simulation numérique qui représente actuellement 80% du temps de l'expert ! (20% en préparation des données, 20% en chargement, 40% en récupération). A ce niveau, de nombreux progrès sont attendus dans l'interfaçage avec les outils de CAO.

Dossier préparé par :

Jean Breton
Serge Samper (principes)
Thomas Gadel (implants)
Christine Bartod (magnétisme)
Amen Agbossou (composites)
Thierry Guillemain (simulation en mécanique)
Claude Girard (environnements sévères &
Yves Zolnierowski structures de forme complexe)

jb@thesame-innovation.com
serge.samper@univ-savoie.fr
thomas.gadel@univ-savoie.fr
christine.barthod@univ-savoie.fr
amen.agbossou@univ-savoie.fr
infos@ctdec.com
claudio.girard@lapp.in2p3.fr
yves.zolnierowski@lapp.in2p3.fr

