

1. Introduction :

Dans la vie courante, nous modélisons tous et tout le temps : à chacun des êtres qui nous entourent, qu'il s'agisse d'objets matériels, de personnes ou d'institutions, nous associons une image mentale à un objet qui nous permet d'anticiper son comportement. Nous faisons des simulations pour évaluer les conséquences et prendre les décisions.

Depuis la nuit des temps, l'homme observe les relations, les régularités et les symétries de son univers. Pour décrire, structurer ces relations, ces régularités et ces symétries, en particulier dans le domaine de la physique, on fait appel au langage mathématique. Toutes les lois de la nature sont exprimées sous forme d'équations. Le comportement d'un phénomène, d'un changement d'état, est interprété par des relations.

2. La modélisation :

2.1. Histoire :

L'histoire de la modélisation des principes physiques de la dynamique des systèmes couvre une période de plus de 300 ans, mais avec la percée des ordinateurs, des études de cas réalistes grâce à la simulation sont abordées. Cependant, il faut attendre la deuxième partie du XXe siècle pour voir apparaître un formidable renouveau de cette discipline avec l'arrivée d'outils informatiques puissants et la conception assistée par ordinateur (la CAO).

La prise en compte des déformations des structures était jusqu'au début des années soixante, l'objet de la résistance des matériaux qui pouvait traiter de manière limitée et analytique, des cas simples de poutres, de plaques ou de coques, ne pouvant être appliqués à la plus part des cas industriels. Le développement de l'industrie ces dernières années a connu une utilisation particulière de la modélisation et de la simulation. Les concepteurs ne se contentent plus du niveau d'approximation d'une étude. Aujourd'hui, dans les bureaux d'études et les bureaux de méthodes, on développe une diversité importante des résultats d'une étude. Le saut réalisé aujourd'hui, avec la méthode des éléments finis, permet d'aborder tout type de modélisation, aussi complexe soit elle, sous les conditions de fonctionnement ou de chargement les plus variés.

En mécanique, la résolution de l'état des contraintes, des déformations et des variables internes correspondantes, par l'utilisation de la méthode des éléments finis et la mécanique des milieux continus, permet d'utiliser des modèles de comportement établissant une relation contrainte/déformation.

2.2. Définitions:

La modélisation d'un phénomène, c'est sa **représentation** à l'aide d'un **modèle** qui possède des propriétés analogues à ce phénomène. C'est une traduction de la réalité, puis en sens inverse, l'affectation des résultats obtenus au système réel.

Le principe est de réaliser **une expérience empirique ou virtuelle**, en établissant un modèle explicatif du phénomène et de son comportement en recensant les variables et les facteurs caractérisant ce phénomène. L'expérience est effectuée non pas sur le système "réel", mais plutôt sur un modèle simulé dont les propriétés et le comportement sont analogues. Au préalable, il convient de rappeler que lors d'une modélisation empirique ou virtuelle, nous ne faisons qu'étudier le modèle d'un système et non point le système lui-même. Confondre le système et son modèle serait identique à confondre un paysage et sa photographie. Le modèle ne peut pas, sauf cas particulier, représenter le système dans toute sa complexité. Les approches "expérimentale" et "virtuelle" sont bien évidemment complémentaires et les prédictions faites, doivent être validées.

2.3. Le Modèle :

Un « modèle » est la représentation d'un objet du monde réel. En mécanique, les modèles sont des outils permettant de prédire les réponses statiques et dynamiques d'un phénomène qui servent à son interprétation ou à la prédiction de son comportement. Le mécanicien substitue aux objets réels des corps géométriques au comportement établi, leur donne des masses, leur impose des efforts, eux même modélisés, et met en équation, c'est-à-dire transforme un problème réel en un problème mathématique.

On parle de modèle empirique, lorsque le modèle est construit à partir de données expérimentales en s'appuyant uniquement sur l'expérience. La validité du modèle est fonction des conditions expérimentales.

On parle de modèle analytique, lorsque le modèle est déduit d'une formulation mathématique sous forme d'équations ou de courbes.

Dans les 2 cas, le choix optimal du modèle devra se baser sur la répétition des essais ou l'itération du calcul.

Si le comportement d'un phénomène est modélisé grâce à un modèle empirique ou mathématique, **la simulation numérique** est plus complexe, mettant en œuvre des algorithmes et par conséquent des logiciels.

Domaines d'application :

Le modèle conduisant à la reproduction (Maquettes)

Le modèle comme outil de simplification (Schématisation, Approximation)

Le modèle comme outil de compréhension (Portrait-robot, Reconstitution)

Le modèle comme outil d'anticipation (Domaine spatial, l'économie, les prototypes)

2.4. Les méthodes:

Nous ne rentrerons pas dans le détail des multiples méthodes de modélisation accessible dans la littérature. Nous chercherons ici simplement à identifier les différentes voies possibles qui font l'objet d'applications courantes. On retient :

- La méthode empirique : L'étude est réalisée expérimentalement. Le modèle peut être une éprouvette ou un prototype.
- La méthode analytique : L'étude fait appel à des formulations mathématiques. Le modèle se présente sous forme de relations mathématiques.
- La méthode numérique : L'étude fait appel à l'outil informatique. Le modèle est représenté par des images virtuelles, traitée sur un ordinateur par l'exécution d'un programme informatique.

3. La simulation:

La simulation repose sur la mise en œuvre de *modèles théoriques* utilisant souvent la technique dite des *éléments finis*. Elle est donc une adaptation aux moyens numériques de la modélisation mathématique, et servent à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système modélisé ainsi qu'à en prédire son comportement. Les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats des calculs par des *images de synthèse*. Ces simulations sont rapidement devenues incontournables pour la modélisation des systèmes réels.

Les progrès des méthodes numériques et l'augmentation des performances des ordinateurs permettent grâce à des simulations de plus en plus détaillées, de prédire le comportement des systèmes complexes. L'industrie utilise de plus en plus la simulation numérique, validée par des expériences, pour raccourcir le cycle de développement de ses nouveaux produits.

L'aptitude des pièces au cours de la fabrication et la détermination des caractéristiques mécaniques du matériau peuvent être envisagées aujourd'hui sans recourir aux procédés classiques, grâce aux puissants outils de calcul et de simulation. La simulation numérique, permet de visualiser virtuellement le comportement du métal dans l'outil et entreprendre des analyses quasi quantitatives sur des modèles représentatifs de pièces réelles. Le développement de ces méthodes a favorisé l'utilisation de logiciels industriels permettant la simulation des essais, pouvant se substituer entièrement ou en partie à l'expérimentation coûteuse. Ces méthodes nous épargnent la mise au point de prototypes, et nous permettent une prise de décision facile, d'où un gain de temps et de coût.

4. Confrontation des modèles :

Le modèle obtenu par une méthode, ne peut être utilisé tel quel; il est impératif de le valider par une autre méthode. En mécanique, la dernière étape d'une étude menée par une méthode est la validation du modèle de comportement. Cette validation consiste selon le cas, soit à développer un calcul sur la base des lois énoncées dans la littérature, soit réaliser expérimentalement un essai sur une éprouvette, soit simuler le déroulement de cet essai au moyen d'un logiciel industriel de simulation, afin de quantifier l'écart entre les réponses obtenues. La démarche est résumée dans la Figure 1.

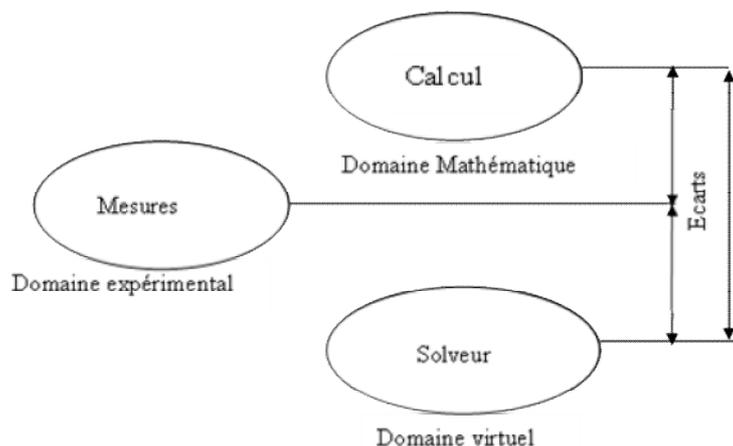


Fig. 1 : Quantification de l'écart entre les différentes méthodes de modélisation

Des allers-retours entre 2 méthodes physiques et virtuelles permettent de valider le modèle de comportement sur la base de l'écart entre la réponse mesurée et les résultats calculés dans les conditions d'utilisation envisagées. L'optimisation du modèle de comportement afin de réduire l'écart entre les réponses des essais et les résultats de la simulation virtuelle du comportement fait constamment l'objet de plusieurs travaux.

La valeur de l'écart entre les réponses de l'essai et les résultats de la simulation par exemple, permet de valider ou non le modèle de comportement. Si l'écart est important c'est que des phénomènes physiques n'ont pas été modélisés. Il conviendra alors de faire évoluer le modèle de comportement afin de réduire cet écart.

L'implantation numérique des modèles de comportement est une étape cruciale dans la qualité de prédiction de divers phénomènes en calcul de structures par exemple. En effet, la richesse physique de ces modèles peut être compromise par les erreurs liées à l'approximation numérique de la solution exacte du problème, qui n'est généralement pas connue.