



MÉTROLOGIE

Etude du comportement physique des systèmes matériels

2

1 – QU'EST CE QU'UN COMPORTEMENT PHYSIQUE ?

Tout système matériel (une voiture, un téléphone, une maison, un pont, une paire de chaussures, une centrale nucléaire, etc.) a été conçu, c'est-à-dire pensé, avant d'être fabriqué. Or, quand on conçoit quelque chose, on souhaite qu'il réponde le mieux possible au besoin. Par exemple, une chaussure ne doit pas faire mal au pied et se doit donc d'être souple mais pas trop. On se demande alors de quoi dépend la souplesse de la chaussure (des matériaux choisis, des épaisseurs de semelle, de tissus, etc.).

Il s'agit là d'un comportement physique, au même titre que la production d'électricité d'une centrale dépend de la vitesse de rotation des turbines.



Dans tous les cas, on a besoin de savoir comment le système se comporte d'un point de vue physique.

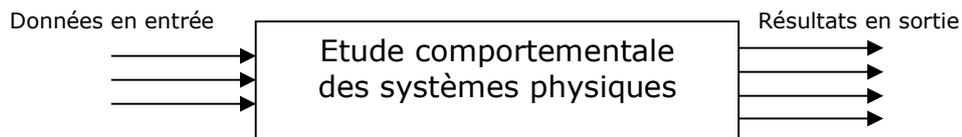
2 – ET COMMENT ON FAIT POUR ETUDIER UN COMPORTEMENT PHYSIQUE ?

Il y a deux façons de faire :

- 1) **On fait des expériences réelles** ; dans l'exemple de la chaussure ci-contre, on applique une force connue sur elle et on mesure sa déformation. On fait plusieurs essais avec différents matériaux avec l'idée de trouver celui qui convient le mieux.
- 2) **On fait des calculs théoriques** ; dans l'exemple de la chaussure, on applique les lois de la mécanique des solides déformables et grâce aux formules, on arrive à calculer la déformation pour une force donnée et un matériau donné.



Mais il arrive parfois et même souvent que les calculs soient trop complexes (car le système est très compliqué). Dans ce cas, le comportement physique du système est **simulé** à l'aide de logiciels spécifiques. C'est de la simulation numérique.



3 – QUEL RAPPORT Y-A-T-IL ENTRE LA SIMULATION, L'EXPERIMENTATION ET LE CALCUL ?

Disons déjà qu'il existe des théories physiques (la mécanique, l'optique, l'électromagnétisme, et beaucoup d'autres). Ces théories permettent de résoudre des problèmes « sur le papier », c'est-à-dire en faisant des calculs.



Allez-vous apprendre à faire des calculs ? Oui !

$$q = -K(h+H) \frac{\partial h}{\partial x} = Ix + A \Rightarrow -K(h + \frac{h}{\varepsilon}) \frac{\partial h}{\partial x} = Ix + A$$
$$\Rightarrow -K \left(\frac{1+\varepsilon}{\varepsilon} \right) \frac{1}{2} \frac{\partial (h^2)}{\partial x} = Ix + A \Rightarrow \frac{\partial (h^2)}{\partial x} = -2\varepsilon \frac{Ix + A}{K(\varepsilon + 1)}$$

$$\text{d'ou } \Rightarrow \begin{cases} h(x) = \sqrt{-\varepsilon \frac{Ix^2 + 2Ax - 2B}{K(\varepsilon + 1)}} \\ H(x) = \sqrt{-\frac{Ix^2 + 2Ax - 2B}{K\varepsilon(\varepsilon + 1)}} \end{cases}$$



Concernant la **simulation numérique**, et bien on confie à des logiciels la charge d'effectuer les calculs à partir des théories physiques qui ont été programmées. L'avantage est que les ordinateurs sont très rapides et permettent donc de **traiter des problèmes multi-physiques très complexes**, tellement complexes même, qu'il est impossible de les traiter par le calcul manuel.



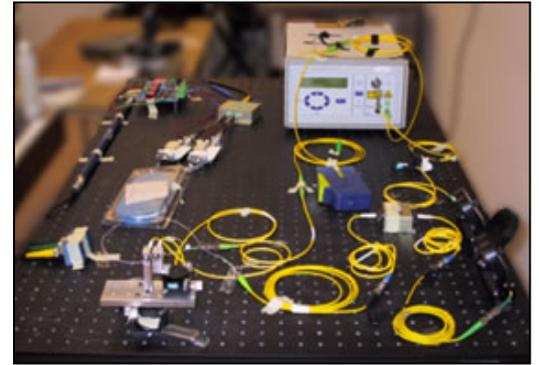
Allez-vous faire des simulations ? Oui !

Et enfin, l'**expérimentation** : là, c'est la partie pratique : on bricole, on soude, on scie, on utilise des masses pour créer des chargements, on mesure ce qu'on veut connaître avec des instruments de mesure (règle, thermomètre, voltmètre, etc.).

On peut aussi mettre des capteurs sur le système pour acquérir des informations et ensuite les traiter. *Cet aspect là est d'ailleurs lié à la simulation logicielle puisque les informations venant des capteurs peuvent être traités en temps réel par les ordinateurs.*



Allez-vous faire des expérimentations ? Ce n'est pas toujours simple car il s'agit de mettre en œuvre du matériel, mais ça sera le cas.

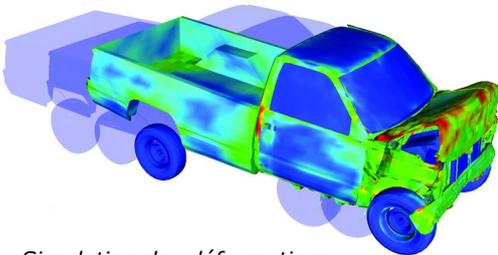


4 – EST-CE QU'ON PEUT SIMULER LE COMPORTEMENT DE N'IMPORTE QUEL SYSTEME ?

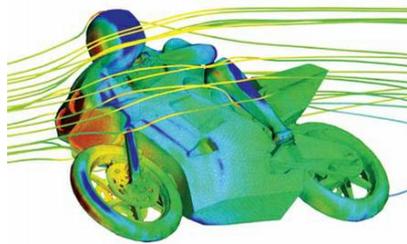
Aujourd'hui, on peut dire globalement oui ! Les ordinateurs sont suffisamment puissants et les logiciels existants relativement performants. Nous utilisons INVENTOR pour faire de la simulation mécanique, mais on peut aussi, avec d'autres logiciels, simuler beaucoup d'autres choses ! Imaginez un mécanisme avec des pièces qui bougent, ça c'est de la mécanique du solide. Le frottement des pièces en mouvements dégage de la chaleur, ça c'est de la thermique. Ajoutons un jet d'air pour évacuer cette chaleur. Ca c'est de la mécanique des fluides.



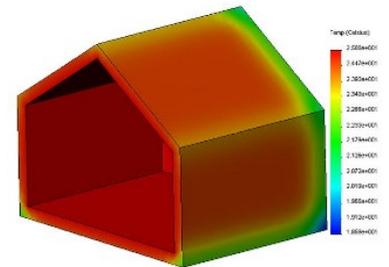
Peut-on simuler ça ? Et bien oui ! Le modèle à mettre en place est dit **multi-physique** car il fait intervenir différents domaines des sciences physiques (mécanique du solide, des fluides, thermique).



Simulation des déformations d'un véhicule



Simulation des écoulements fluides pour une moto



Simulation des déperditions thermiques d'une maison



*La **simulation numérique** des systèmes est très présente aujourd'hui et quasi-systématique. Elle vient en remplacement ou en complément de l'**expérimentation** et du **calcul manuel**.*