

Faut-il aborder simultanément la statique des fluides, la statique des solides et la résistance des matériaux ?

par Pierre SIMONET,
Lycée technique Blaise-Pascal, 76100 Rouen.

Si un sondage était fait, par exemple, auprès des professeurs de construction des classes de Première F_1 , il est probable, qu'avec des nuances, les réponses à cette question seraient plutôt négatives.

D'abord la statique des fluides, n'est pas incluse dans le programme de mécanique et ce dernier, ainsi que la tradition, incite à traiter séparément la statique du solide sans frottement, celle avec frottement, et à aborder ensuite les premières notions de résistance des matériaux.

En classe terminale F_1 , les circuits pneumatiques et les transmissions hydrostatiques figurent au programme de construction, mais celui-ci est bien vaste et le professeur ne pourra que faire analyser assez superficiellement quelques exemples de réalisations.

Bref, la statique des fluides, qui n'est pas non plus au programme de Seconde, est pratiquement délaissée et il ne faut pas s'étonner outre mesure qu'un bachelier F_1 (ou E) ne sache pas très bien ce qu'est une pression au sein d'un fluide et ignore la valeur de la pression atmosphérique.

L'objet de cet article est de proposer un enrichissement de l'enseignement de la statique afin de le rendre d'abord plus motivant, ensuite plus efficace puisque le champ d'application sera plus étendu, et enfin plus simple parce que les mêmes notions élémentaires de base seront décrites et utilisées immédiatement et simultanément dans plusieurs domaines qui étaient jusqu'ici étudiés séparément.

Les mécanismes industriels, que les élèves doivent étudier, sont composés de solides, mais aussi de fluides, et les actions mécaniques qui s'y exercent entre solides et fluides et à l'intérieur de ceux-ci font l'objet des mêmes analyses et des mêmes modélisations.

Il en est de même pour notre environnement : notre corps avec ses gestes et ses déplacements, les machines qui nous transportent et les objets que nous manipulons. A chaque instant et partout, des actions mécaniques semblables, des solides plus ou moins rigides, des liquides plus ou moins visqueux et un omniprésent mélange gazeux sous une pression non négligeable.

Il paraît donc logique d'aborder la statique par l'étude de systèmes comportant indifféremment des solides, des fluides, des portions de solides, et des portions de fluides. Les mêmes modèles, les mêmes méthodes et les mêmes lois y seront mis en œuvre.

Reprenons quelques aspects de cet enseignement et montrons pourquoi le traitement simultané des premières notions de statique des solides, de résistance des matériaux et de statique des fluides, mérite d'être envisagé.

1. LES ISOLEMENTS DE SYSTEMES ET LA DESCRIPTION QUALITATIVE DES ACTIONS MECANQUES ET DE LEUR ZONE D'APPLICATION.

Après les premières notions de mécanique données en classe de Seconde, il faut apprendre au futur technicien à isoler un système quelconque formé de solides de fluides ou de portions de ceux-ci, à faire le bilan complet et à décrire *qualitativement* les actions mécaniques (a. m.) qui s'exercent sur le système isolé.

Dès le début de ces études, l'élève doit pouvoir repérer les frontières naturelles de divers systèmes (surface de contact entre deux solides ou entre un solide et un fluide par exemple) mais aussi choisir des frontières artificielles (coupe fictive dans une barre métallique ou frontière fictive isolant un certain volume de liquide au sein d'un liquide).

Les exemples concrets servant de supports à cet entraînement peuvent être choisis parmi les objets les plus usuels et banals : un récipient posé sur une table, rempli d'eau aux $3/4$ et dans lequel une petite tige cylindrique en bois est partiellement immergée et en contact avec le récipient, constitue un matériel expérimental riche avec toutes sortes d'a. m. et la possibilité de faire de nombreux isollements avec frontières naturelles et artificielles (ne pas oublier l'air sous pression atmosphérique).

Une a. m. a toujours une zone d'application, plus ou moins étendue, généralement surfacique et plus ou moins bien définie :

— celle de l'a. m. exercée par un fluide sur un autre fluide ou sur un solide est bien définie (par exemple la zone d'application de l'a. m. de l'air ambiant sur l'eau du récipient, ou la zone d'application de l'a. m. de l'eau du récipient sur les parois du récipient) ;

- celle de l'a. m. exercée par un solide sur un autre solide n'est pas toujours bien définie à cause des défauts de forme des surfaces en contact (par exemple la zone d'application de l'a. m. exercée par la table sur le récipient).

2. LES ACTIONS MECANQUES ELEMENTAIRES. PRESSIONS ET CONTRAINTES.

A partir d'une a. m. et de sa zone d'application surfacique, on peut passer à l'a. m. *élémentaire*, dont la zone d'application est une petite surface d'aire s .

Si le modèle mathématique de l'a. m. élémentaire est un vec-

teur $\vec{F}$, le vecteur $\vec{f} = \frac{\vec{F}}{s}$ va permettre de définir avec précision :

- a) une pression au sein d'un fluide, en un point ;
- b) une pression de contact entre fluide et solide ;
- c) une a. m. en un point d'un contact entre solides (en particulier une pression de contact) ;
- d) une contrainte en un point de la section fictive d'un solide.

Si on pose : $\vec{f} = \vec{n} + \vec{t}$, $\vec{n}$ et $\vec{t}$ étant les composantes normales et tangentielles à la petite surface, il est intéressant de noter de suite les valeurs possibles de $\vec{n}$ et $\vec{t}$ suivant les cas précédents :

- pour a et b on peut affirmer que $\vec{t} = \vec{0}$ (ou admettre que l'on peut le négliger) ;
- pour c , le rapport $\|\vec{t}\|/\|\vec{n}\|$ est toujours inférieur au facteur d'adhérence ;
- pour d , $\|\vec{t}\|$ et $\|\vec{n}\|$ peuvent avoir des valeurs quelconques inférieures toutefois à des valeurs maximales qui caractérisent la résistance du matériau constituant le solide.

Un autre point important à développer est que pour une a. m. exercée par un fluide ou sur un fluide, le vecteur $\vec{f}$ (c'est-à-dire ici, $\vec{n}$) est bien défini et que par contre pour une a. m. exercée entre solides (ou au sein d'un solide) la connaissance de $\vec{f}$ est beaucoup plus imprécise (incertitudes sur la répartition réelle des a. m. élémentaires).

3. LES MODELES MATHEMATIQUES DES ACTIONS MECANIQUES (*).

A partir des a. m. élémentaires (et de leur modèle), on peut revenir aux a. m. globales et montrer qu'une a. m. quelconque si complexe soit-elle (ou un groupe d'a. m.) est toujours modélisable par deux éléments :

— Le premier est appelé couramment *force* ou *glisseur* (ou point-vecteur ou vecteur glissant, etc.). Son modèle mathématique est un vecteur à 3 coordonnées associé à une droite ou *ligne d'action* dont la position peut être choisie arbitrairement.

— Le second est appelé couramment *couple*. Son modèle mathématique est un vecteur à 3 coordonnées.

Dans de nombreux cas, l'a. m. est modélisable par un glisseur seul dont la ligne d'action a évidemment une position bien déterminée.

Cependant, si cela est utile, on peut toujours remplacer un glisseur seul par un autre glisseur, dont la ligne d'action est choisie à volonté, et un couple. Ainsi l'a. m. de cohésion qui s'exerce dans la section droite d'une poutre soumise à une sollicitation de flexion plane simple est modélisable par un glisseur seul, mais on préfère la modéliser par un couple et un glisseur dont la ligne d'action passe par le centre de gravité de la section droite.

Donc deux modèles mathématiques suffisent pour rendre compte de n'importe quelle a. m. :

- le vecteur défini par 3 coordonnées,
- le glisseur (c'est-à-dire un vecteur associé à une droite) et qui est défini par 5 coordonnées.

Pour utiliser ces deux modèles, l'élève doit bien connaître et manier les vecteurs unitaires, bases et repères orthonormés, vecteurs, produits scalaires et produits vectoriels.

Soulignons que la manipulation algébrique ou graphique des modèles mathématiques n'est pas la partie la plus difficile, ni la plus intéressante, de la mécanique élémentaire.

Calculer des produits vectoriels ou tracer correctement des funiculaires, demande de l'attention et de l'entraînement mais ne présente pas de grosses difficultés et la majorité des élèves doivent pouvoir acquérir une maîtrise satisfaisante dans ces travaux qui se font de façon quasi automatique après un nombre suffisant d'exercices.

(*) Voir B.U.P. n° 697.

Par contre, l'expérience montre que de nombreux étudiants ne parviennent pas, même au cours d'études post-bac, à faire eux-mêmes des isolements judicieux de systèmes, des modélisations raisonnables et des bilans complets et corrects d'a. m.

4. UN ENSEIGNEMENT STRUCTURE DE LA STATIQUE DES FLUIDES.

Nous avons déjà signalé que cet enseignement n'était pas programmé. Il faut donc que le professeur prenne l'initiative de le faire et le plus tôt sera le mieux.

Après avoir expliqué les isolements, décrit les a. m. et a. m. élémentaires, et défini les pressions, les savoirs indispensables ou utiles doivent se transmettre facilement.

La loi fondamentale se déduit simplement de l'isolement d'un petit cylindre de fluide au sein d'un volume plus grand du même fluide, et du bilan des a. m. qui s'exercent sur lui. Pas de difficultés non plus pour expliquer l'expérience de TORICELLI, montrer l'importance de la pression atmosphérique, ou démontrer le théorème d'ARCHIMÈDE.

Le cours lui-même peut être bref. Les applications et les calculs apparaîtront fréquemment à propos des dispositifs ou mécanismes étudiés dans le cadre de la mécanique ou de la construction.

5. LES PREMIERS ELEMENTS DE LA RESISTANCE DES MATERIAUX.

Les notions de section fictive dans un solide et d'a. m. élémentaire dont la zone d'application est une petite surface de la section fictive, conduisent à la définition de la contrainte normale et de la contrainte tangentielle en un point de la section fictive.

On peut ensuite définir la poutre et quelques chargements simples qui sont au programme de mécanique.

En faisant une section fictive « droite » et en étudiant l'équilibre de l'un des tronçons de la poutre, on définit l'a. m. globale de cohésion, dans la section, par un couple et un glisseur (voir précédemment).

On peut même étudier de suite les sollicitations simples de traction ou compression et calculer la contrainte en un point de la section droite dans ce cas simple.

C'est l'occasion de montrer aussi, et de suite, qu'en étudiant l'équilibre d'un petit prisme isolé dans la poutre soumise à une

traction simple, on constate que la contrainte dans une section non perpendiculaire à l'axe de la poutre est différente de celle dans la section droite. (On peut aussi le montrer en faisant une section fictive non perpendiculaire à l'axe et en étudiant l'équilibre de l'un des tronçons).

Toutes ces opérations qui viennent d'être mentionnées brièvement et que le lecteur peut estimer trop difficiles ou délicates pour un débutant ne font cependant appel qu'à des notions et méthodes mises en œuvre dès le début de l'enseignement classique de la statique du solide.

L'étude systématique des contraintes et déformations dans les diverses sollicitations simples du programme est reprise plus tard au cours de leçons spécifiques mais des jalons importants sont mis en place dès le début de la classe de Première.

6. CONCLUSION.

La mécanique est une discipline fondamentale dans la formation et l'activité professionnelle des techniciens de construction et fabrications mécaniques.

La nécessité d'enseigner et de mettre en œuvre des matières nouvelles (systèmes automatisés, robotique, etc.) ne diminue en rien son importance. Il sera toujours indispensable de bien la connaître dans sa forme théorique et sous ses aspects les plus pratiques pour concevoir, analyser et réaliser toutes les sortes de mécanismes, d'appareils et de machines.

L'enseignement de cette discipline dans les classes prébac s'est constamment révélé difficile et les résultats sont souvent décevants. Il faut répéter que la statique, en particulier, est une matière qui ne se laisse pas maîtriser facilement ni surtout rapidement. Les lois théoriques en sont très simples parce qu'elles sont basées sur des hypothèses très simplificatrices (par exemple celle du solide indéformable !) La réalité ne connaît pas ces hypothèses simplificatrices. Les problèmes pratiques sont complexes et la recherche des solutions (souvent approximatives) exige des connaissances variées et un grand discernement dans les choix et les hypothèses que l'on est amené à faire.

Il faut donc chercher, sans désespérer, à améliorer cet enseignement, à mieux l'adapter aux rapides évolutions technologiques et à le rendre plus efficace car il est probable que le temps qui lui est actuellement consacré ne pourra pas être augmenté.

Les propositions de cet article vont dans ce sens.

J'espère qu'elles susciteront des réactions et peut-être même des débats.

Ce texte ne prétend pas apporter la recette d'un enseignement initial plus groupé, plus complet et plus efficace. Il y a évidemment beaucoup d'habitudes dont il faut se défaire, douloureusement, et beaucoup d'idées pédagogiques nouvelles à découvrir et mettre en forme pour s'approcher de « la méthode la plus simple, la plus assimilable et la plus rapide » (en s'exprimant à la manière d'un Traité théorique de simplification du travail).

Pour terminer, je propose au lecteur deux observations plus générales mais qui ne sont pas étrangères à notre propos :

— La première est relative au choix que le professeur doit faire bien souvent entre un enseignement plutôt analytique et un enseignement plutôt globalisé. La méthode analytique favorise la rigueur, l'approfondissement et évite la dispersion. Elle est très généralement appliquée et conduit, par exemple, à la décomposition traditionnelle de la mécanique en chapitres bien distincts. Mais il faut se demander, de temps en temps, si certains regroupements ne deviennent pas souhaitables.

Dans l'Enseignement Technique, on procède parfois, officiellement, à d'audacieux regroupements. L'agencement en Seconde en est un exemple : on aborde simultanément des aspects très divers d'un même mécanisme (fonctionnement, mouvements, conception, efforts, fabrication, etc.). A côté d'éléments positifs, il y a peut-être dans cette activité très globalisée quelques risques de superficialité d'imprécision et de dispersion.

— La seconde observation nous ramène au tout début du siècle. Le Taylorisme allait transformer la production industrielle par application de la méthode analytique au travail dans les ateliers : préparation et exécution nettement séparées et parcellisation poussée des tâches. Plus tard, les innombrables disciples de TAYLOR ont manqué d'esprit critique et n'ont pas su faire évoluer ces méthodes en fonction des avancées technologiques et des nouvelles aspirations des travailleurs. Il a fallu attendre bien longtemps avant que le « travail en miettes » soit remis sérieusement en cause et que l'on procède à des regroupements ou « enrichissements des tâches ». L'arrivée en force des ordinateurs, systèmes automatisés et robots modifie à nouveau les données et devrait nous dispenser de multiples tâches répétitives et fastidieuses.

Pour ce qui concerne notre sujet, l'ordinateur est mille fois plus performant que nous dans la manipulation des modèles

mathématiques. Je doute qu'il puisse jamais, à partir du dessin d'un mécanisme, poser les problèmes d'ordre mécanique, choisir les bons isollements, repérer les a.m. et les modéliser correctement.

REFERENCES

B.U.P. n° 697 : *Modèles mathématiques pour enseigner la mécanique élémentaire.*

B.U.P. n °705 : *Un exemple d'analyse d'actions mécaniques dans un mécanisme.*
