

Module : Notion d'éléments de machines (Cours : 1h30)

Mode d'évaluation : Examen : 100%.

Le module concerne une formation scientifique et technologique dans le domaine de la construction mécanique par la connaissance des éléments et pièces de machines standards, utilisés dans la construction des structures mécaniques, leur normalisation ainsi que la transmission mécanique de puissance.

Programme :

Chapitre 1. Introduction

Généralité (la Construction mécanique, Etude de la conception, Coefficient de sécurité, Normes, Economie, Fiabilité)

Chapitre 2. Les assemblages filetés

Vis, Boulons, goujons, calcul de résistance (Cisaillement, matage, flexion, serrage d'un système hyperstatique, ...)

Chapitre 3. Engrenages

Engrenage cylindrique (dentures droite et hélicoïdale), Engrenage conique (denture droite et hélicoïdale), vis sans fin.

Chapitre 4. Arbres et axes

Calcul du diamètre préalable des axes et arbres, Vérification des arbres et axes à la fatigue.

Chapitre 5. Transmission de mouvement (calcul et dimensionnement)

Paliers et butées lisses, Paliers et butées à roulements, Roues de friction, Courroies, Chaînes, ...

Chapitre 6. Accouplements, embrayages et freins

Références bibliographiques :

1. B. J. Morvan, « Les engrenages », Ed. : Delcourt G. Productions, 01/2004.
2. G. Henriot, « Les engrenages », Ed. : Dunod
3. A. Pouget , T. Berthomieu , Y. Boutron, E. Cuenot, « Structures et mécanismes - Activités de construction mécanique », Ed. Hachette Technique.
4. R. Quatremer, J-P Trotignon, M. Dejans, H. Lehu. « Précis de Construction Mécanique », Tome 1, Projets-études, composants, normalisation, AFNOR, NATHAN, 2001.

Chapitre 1 : Introduction

La construction mécanique est une science appliquée orientée vers la résolution des problèmes de conception dans une variété de domaines industriels: agricole, forage, automobile, précision,...etc. Les technologies de construction se limitent à l'étude des objets techniques et de leurs fonctionnements. En effet, chaque objet technique se définit par son ou ses rôles dans un ensemble dont ils sont, souvent, garantis par les spécifications de sa propre structure.

1. Conception

Les deux préoccupations essentielles des constructeurs sont d'obtenir pour les mécanismes qu'ils étudient :

- Un fonctionnement correcte et sûr,
- Un coût de production minimal.

La réalisation de ces objectifs est basée d'abord sur le choix optimisé des matériaux utilisés et les modes de fabrication. Ceci implique toutes les notions de la mécanique telles que: la statique, la cinématique, la dynamique, la thermodynamique, la résistance ou la fatigue (figure 1).

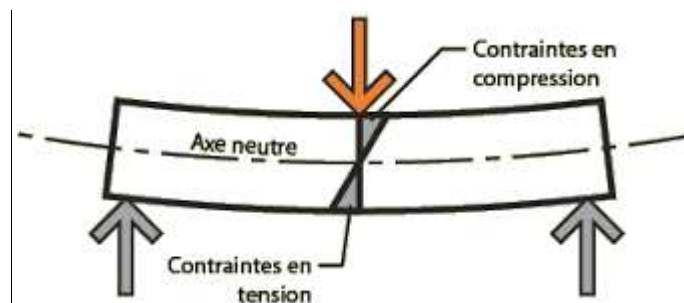


Figure 1.

1.1. Fonctions mécaniques élémentaires

La fonction mécanique élémentaire fondamentale est la fonction liaison. Lorsque deux ensembles mécaniques restent, sous l'effet des actions externes, en contact par certaines de leurs surfaces, on dit qu'ils sont en état physique de liaison. Une telle liaison peut transformer ou transmettre un mouvement, guider ou positionner un ensemble ou articuler un système. On trouve d'autres fonctions mécaniques supplémentaires telle que :

a. Mise en position

Si l'une des pièces d'un mécanisme est prise comme référence, la fonction mise en position s'intéresse à la détermination rigoureuse de la position relative des autres pièces du mécanisme. Selon le nombre de degrés de liberté supprimés, on obtiendra un positionnement

complet (aucun degré n'est possible) ou partiel (un ou plusieurs degrés sont possible) (figure 2).

Liaisons mécaniques NF EN ISO 3952-1 et NF E 04-015					
Liaison	schéma plan	schéma espace			
Encastrement			Sphérique à doigt		
Pivot			Sphérique ou rotule		
Glissière			Appui plan		
Hélicoïdale			Linéaire rectiligne		
Pivot glissant			Sphère cylindre ou Linéaire annulaire		
			Sphère plan ou ponctuelle		

Figure 2. Les liaisons mécaniques

b. Guidage

Cette fonction consiste à la détermination et le contrôle de la trajectoire d'une pièce mobile dans l'ensemble. Cependant, les degrés de liberté possibles sont responsables d'assurer le mouvement requis. S'il s'agit d'un mouvement de translation, on parle d'un guidage en translation sinon le guidage est en rotation (figure 3).



Figure 3. Liaison glissière réalisé par une queue-d'aronde

c. Lubrification

Le frottement des pièces en mouvement relatif peut produire des dégagements thermiques qui conditionnent les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés et ainsi leurs résistance. Aussi, la pression de contact lors d'un mouvement donne naissance au phénomène d'usure qui modifie la forme géométrique des pièces et ainsi la trajectoire de mouvement. La fonction lubrification assure la lute à ces phénomènes par l'interposition

d'un fluide entre les surfaces de contact des pièces en mouvement. Ce fluide a pour but de refroidir le mécanisme et de diminuer l'usure des pièces (figure 4).



Figure 4. Lubrification et graissage

d. Etanchéité

Le bon fonctionnement d'un mécanisme peut être affecté par la pénétration des éléments étrangers ou la fuite des fluides de lubrification. La fonction étanchéité se base sur la protection du mécanisme par l'interdiction ou le contrôle des fuites (figure 5).

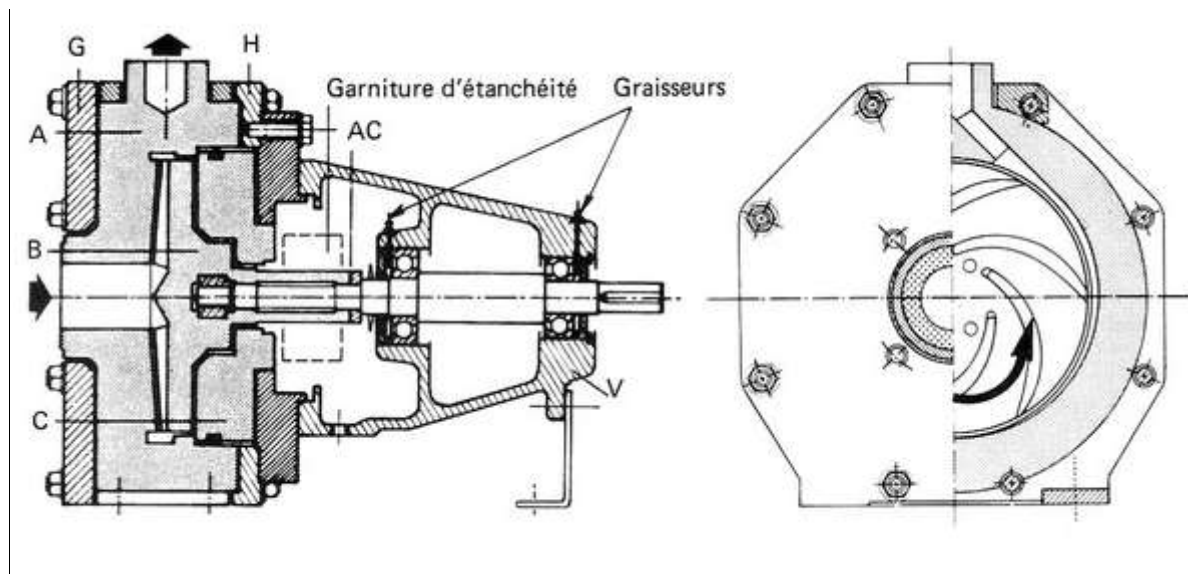


Figure 5. Vue d'ensemble de la position de la garniture d'étanchéité et des points de graissage des roulements pour une pompe centrifuge

1.2. Choix d'une solution technologique

La conception d'un mécanisme c'est l'innovation d'un schéma de fonctionnement assurant l'accomplissement des tâches entendues de ce mécanisme. La réalisation de ce schéma nécessite le choix des technologies disponibles qui aboutissent à un ensemble d'organes fonctionnant d'une manière à assurer les fonctions mécaniques élémentaires comprises

dans ce schéma. Ce problème devra être traité de trois manières : qualitative, quantitative ou économique.

a. Aspect qualitatif

D'une manière générale, le choix d'une solution est basé, en premier lieu, sur la qualité de fonctionnement qu'elle assure. Cela nécessitera la réponse aux questions :

- Quelles sont les degrés de liberté à supprimer ?
- Quelles sont les efforts à supporter ?
- Quelle est la précision exigée ?
- Quels sont les matériaux constituant les pièces en question ?
- Quelle est la température de fonctionnement ?

Ces questions ont d'avantage pour but de faire acquérir un état d'esprit technique qu'une quantité de connaissances technologiques.

b. Aspect quantitatif

Certaines des questions proposées dans l'étude qualitative nécessitent des réponses chiffrées car les problèmes de construction sont souvent présentés sous forme d'un texte comportant des données littérales et chiffrées. En effet, la solution à ces problèmes se présente comme un texte littéral et chiffré, sous forme d'un dessin, d'un schéma ou d'indications diverses permettant de démontrer sans doute que la solution retenue est la meilleure.

c. Aspect économique

Puisqu'on parle toujours des coûts, un autre aspect peut être impliqué dans ce choix, c'est l'aspect économique. Dans ce contexte, le constructeur doit répondre à la question suivante : fabriquer, commander ou acheter ?

La réponse à cette question détermine la tendance de la conception. La fabrication permet de garantir la qualité nécessaire mais elle constitue une perte de temps et de moyens s'il existe des agents spécialisés. Du même, l'achat peut être le meilleur choix si les pièces en question sont disponibles au marché.

2. Normalisation

La mondialisation croissante produit un environnement économique de plus en plus complexe surtout pour les échanges. La recherche des outils de transaction fiables devienne une nécessité pour tous les opérateurs économiques. Cella favorise la clarification entre les différents partenaires et assurent le niveau requis de qualité et de sécurité.

Les documents normatifs sont le fruit des efforts fournis par les chercheurs, les industriels et les opérateurs d'un domaine de production donné. Ils contribuent efficacement dans l'obtention de ces objectifs, tant à l'échelle national qu'à l'échelle international. Cependant, des questions concernant ces documents sont apparues :

- Quelles sont les sources utiles pour les retrouver ?
- Pour quelles raisons sont-ils utilisés ?
- Existe-t-il des liens entre ces documents ?

La réponse à ces questions peut être repérées par les organisations officielles de normalisation, national ou international.

2.1. Norme

Ce terme vient du mot latin "Norma" qui signifie la règle ou l'équerre. Les premières normes sont venues pour résoudre les problèmes d'interchangeabilité dans les domaines d'électricité et de métallurgie. Par la suite, cette technique s'est étendue à tous les types de produits industriels. Actuellement, elle dépasse le domaine technique et aborde presque tous les domaines, même celui de la réglementation.

La norme est définie officiellement par l'organisation de normalisation comme suit :

« La norme est un document établi par consensus, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné. »

« La normalisation est une activité d'intérêt général qui a pour objet de fournir des documents de référence élaborés de manière consensuelle par toutes les parties intéressées, portant sur des règles, des caractéristiques, des recommandations ou des exemples de bonnes pratiques, relatives à des produits, à des services, à des méthodes, à des processus ou à des organisations. Elle vise à encourager le développement économique et l'innovation tout en prenant en compte des objectifs de développement durable. »

La valeur ajoutée par l'utilisation des normes peut être résumée dans les points suivants :

- Définir un langage commun entre professionnels d'un secteur.
- Harmoniser les pratiques et les règles, permettant de développer des marchés.

- Favoriser la compatibilité technique des systèmes.
- Rationaliser la production par la maîtrise des caractéristiques techniques des produits.
- Réaliser des transferts de technologies nouvelles dans des domaines essentiels pour l'entreprise et la collectivité.
- Fournir des modes de preuve de conformité à la réglementation.
- Servir de base à une évaluation, notamment dans le cadre d'une certification.
- Définir un niveau de qualité et de sécurité des produits.

D'un autre côté, il faut faire une distinction entre deux sens proches: normalisation et certification. Cette dernière signifie la procédure par laquelle une tierce partie donne une assurance écrite, sous forme d'un document provenant d'un organisme officiel ou une spécification provenant d'une organisation privée, qu'un produit, un service, un système de qualité ou un personnel est conforme aux exigences spécifiées dans un référentiel.

2.2. Différents types de normes

On distingue quatre grands types de normes :

- 1er. Les normes fondamentales qui concernent la terminologie, les symboles, la métrologie.
- 2e. Les normes d'essais qui décrivent des méthodes d'essais et d'analyse et qui mesurent des caractéristiques.
- 3e. Les normes de spécifications qui fixent les caractéristiques d'un produit ou d'un service, les seuils de performance à atteindre et l'aptitude à l'emploi.
- 4e. Les normes d'organisation qui s'intéressent à la description d'une fonction dans l'entreprise, d'un mode de fonctionnement.

2.3. Organismes internationales de normalisation

a. Organisation internationale de normalisation (ISO) Parce que le nom (Organisation internationale de normalisation) aurait donné lieu à des abréviations différentes selon les langues (« IOS » en anglais et « OIN » en français), ses fondateurs ont opté pour un nom court, universel « ISO ». Ce nom est dérivé du grec "isos", signifiant égal. Créée en 1946, l'ISO regroupe les organismes de normalisation nationaux de plus de 160 pays. Elle a pour mission de favoriser le développement de la normalisation dans le monde afin de faciliter les échanges internationaux et réaliser une entente mutuelle dans les domaines scientifique, intellectuel, technique et économique.

b. Comité électrotechnique international (CEI)

La CEI (IEC en anglais), créée en 1906, compte plus de 80 pays membres. Elle intervient dans le domaine de l'électricité et de l'électrotechnique.

c. Union internationale des télécommunications (UIT)

L'UIT (Union Internationale des télécommunications) est l'instance internationale, membre de l'ONU, en matière de normalisation et de réglementation. Aujourd'hui constituée par plus de 192 membres des administrations, de 700 membres professionnels et utilisateurs du domaine, l'UIT a publié environ 4 000 spécifications sur les installations et les équipements de télécommunications et de radiocommunication.

2.4. Elaboration d'une norme

Pour un problème technique répétitif, on réunit les diverses parties intéressées à sa résolution: fabricants, utilisateurs, laboratoires, distributeurs, consommateurs ou pouvoirs publics. Par la suite, on cherche une solution pour le problème à l'aide du principe de consensus. Les procédures d'élaboration d'une norme communes ISO et CEI prévoient six stades de développement dont seuls les trois derniers sont accessibles au public :

- NP : Proposition d'étude nouvelle (New work item proposal).
- WD : Projet de travail (Working draft).
- CD : Projet de comité (Committee draft).
- DIS : Projet de norme internationale (Draft international standard).
- FDIS : Projet final de norme internationale (Final draft international standard).
- IS : Norme internationale (International standard).

3. Sécurité

En génie mécanique, la notion de sécurité étant souvent mal comprise à cause de l'utilisation de son antonyme "danger" ou tout simplement insécurité due à une faute. Il convient donc de préciser d'abord la définition exacte de cette notion. Prenons pour ce but un exemple de sollicitation simple, l'extraction d'une pièce. Pour connaître la contrainte limite supportée par cette pièce dans des circonstances données, on fait un certain nombre d'expériences. Les résultats obtenus sont malheureusement soumis à certains facteurs imprévisibles tels que: l'impureté du matériau testé, l'imprécision des instruments utilisés ou la lecture incorrecte des résultats. Notons ici qu'il existe inévitablement une dispersion des résultats. La considération de ces résultats dans les applications pratiques implique un état d'insécurité représenté soit par un mauvais fonctionnement ou une durée de vie plus courte des mécanismes. La notion sécurité est définie par la lutte à la dispersion des données concernant un problème de conception donné.

3.1. Facteur de sécurité

La courbe représentante de la probabilité de résistance d'une pièce (fiabilité) S en fonction de la contrainte appliquée σ est donné dans la Figure 1.1.

$$FS = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma(S)} \quad (1)$$

Pour une fiabilité de référence S^* , on trouve une contrainte limite σ_{lim} comme étant l'abscisse correspondant à S^* dans la courbe de la figure 1.1. La considération d'une fiabilité S supérieur à S^* , correspond à une contrainte $\sigma(S)$ inférieur à la contrainte limite σ_{lim} . Cela veut dire que l'accroissement de la fiabilité correspond à la diminution de la contrainte. Le rapport supérieur à l'unité est appelé coefficient de sécurité. Il est donné par :

C'est le rapport de la contrainte limite sur la contrainte appliquée ou pratique. L'utilisation d'une valeur supérieure à l'unité pour ce coefficient revient donc à garantir une fiabilité supérieure à celle de référence. En pratique, l'introduction d'un facteur de sécurité se traduit par l'utilisation d'une contrainte pratique donnée par:

$$\sigma(S) = \frac{\sigma_{lim}}{FS} \quad (2)$$

3.2. Détermination d'un coefficient de sécurité

La valeur du facteur de sécurité est influencée par plusieurs considérations :

- Les accédants graves entraînés par la faillite des mécanismes.
- Les réparations coûteuses ou l'arrêt prolongé des machines à cause des défaillances fréquentes.
- L'incertitude des circonstances considérées pour le calcul de la résistance.

A partir d'un certain nombre de facteurs liés au matériau utilisé, au rôle de la pièce et à la précision de calcul, ce coefficient peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$FS = F_{mat} \times F_{grav} \times F_{prec} \quad (3)$$

Où

F_{mat} : dépend de la dispersion des résultats relatifs aux caractéristiques du matériau.

Voici quelques valeur indicatives : de 1.05 à 1.10 pour les pièces obtenues d'une ébauche laminée ou forgée, de 1.15 à 1.20 pour les pièces moulées et de 1.20 à 1.30 pour une pièce soumis à la fatigue.

F_{grav} : tient compte de la gravité du rôle que la pièce doit jouer.

A titre indicative, ce facteur est compris généralement entre 1 et 1.3.

F_{prec} : relatif au degré de confiance que l'on a dans les hypothèses utilisées pour le calcul de la résistance.

Il est situé en moyenne dans la marge de 1 à 1.3.

Dans la pratique, ce coefficient peut être choisi à partir des marges de valeurs suivantes :

1.25 ÷ 1.50 : matériaux bien éprouvés et contraintes réelles bien connues,

1.50 ÷ 2.00 : matériaux et conditions d'emploi bien connus,

2.00 ÷ 2.50 : contraintes bien connues et matériaux très souvent utilisés,

2.50 ÷ 3.00 : matériaux fragiles utilisés dans des conditions ordinaires,

3.00 ÷ 4.00 : comportement du matériau ou état de contraintes mal connu.