

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES STRUCTURES

1.1 Définition :

La structure est une fonction de la construction. On ne peut pas projeter l'un sans penser à l'autre. Dans certains cas on ne peut même pas distinguer concrètement la structure du reste de la construction (pensez aux toiles tendues, nappes de câbles, structures pneumatiques, voûtes et voiles en béton, constructions en maçonnerie ou en terre).

La fonction structurelle est normalement conçue sur la base de quelques principes :

- Économie de moyens. Obtenir les performances demandées avec la démarche de projet et le système constructif les plus simples.
- Décomposition et ordre morphologique. Par exemple une ossature peut être décomposée en portiques qui, à leur tour, se composent de poutres et poteaux : le premier niveau d'ordre morphologique du système est celui des poutres et poteaux, le deuxième celui des portiques et le dernier est l'ossature ;
- Hiérarchisation des éléments. Entre éléments porteurs et éléments portés existe une relation d'ordre hiérarchique qui permet la distinction d'une structure primaire, secondaire etc. ;
- Aptitude au montage. Une structure est un assemblage qui doit se construire. Les conditions aux limites et les joints composent la structure au même titre que les éléments de structure proprement dits, la logique constructive de l'ensemble fini résulte aussi de la logique du montage.

Concevoir la structure signifie donc essentiellement faire les choix qui permettent, dans les limites des coûts admissibles, l'obtention des performances minimales requises pour que la structure puisse fonctionner sous un ensemble prévisible et raisonnablement limité d'actions extérieures.

1.2 Typologie des structures :

Parmi les entrées du processus de conception on trouve l'expérience du concepteur. Les différents choix demandés par la conception d'une œuvre sont orientés par les individus qui partagent ce

processus en fonction de leurs connaissances. C'est par ce biais que le substrat culturel du concepteur émerge. Pour s'orienter dans cette phase très importante de la conception, il est utile de se référer à des archétypes de structures et de s'appuyer sur une vision organisée du champ du possible par rapport à l'expérience acquise. Un classement typologique des structures est alors utile.

1.3 Classement des structures

La forme et la résistance sont souvent associées. Ces deux paramètres jouent un rôle essentiel dans la stabilité et la résistance des constructions. Pour cela les structures sont souvent classées en fonction de la nature des efforts intérieurs et des dimensions caractéristiques de leur géométrie.

Dimensions	Compression seule	Traction seule	Effort normal ou efforts membranaires	Flexion (avec autres efforts)
1D	Piliers, colonnes, arches	Câbles (haubans ou caténaïres), cerclages	Barres	Poutres
1D*	Systèmes arche-arc-boutant, pilier, voûtes à nervures	Nappes de câbles, systèmes câble porteur, tirant de stabilisation	Poutres treillis, treillis spatiaux, dômes en treillis	Ossatures, grillages, gridshells, nexorades, fermes
2D	Murs, piles, contreforts, voûtes	Toiles	Voiles et coques minces	Dalles, coques épaisses
2D**	Murs et contreforts		Systèmes à facettes, systèmes plissés, caissons	

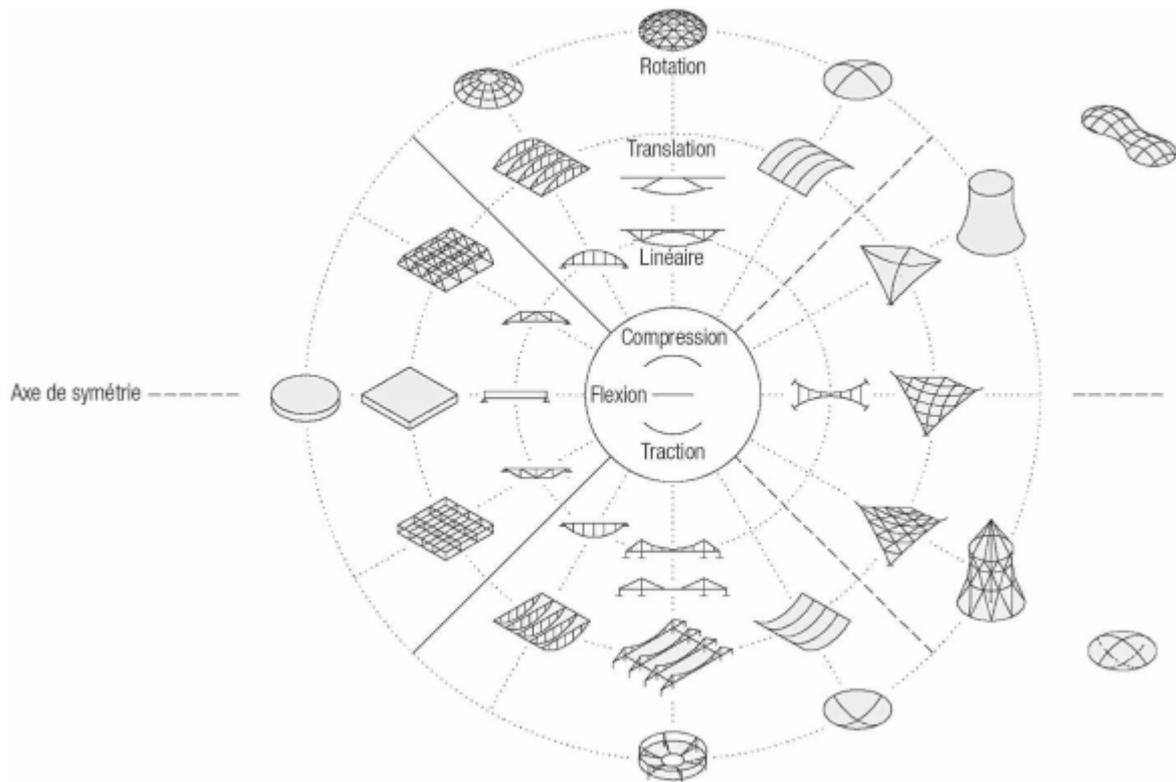
* : Éléments 1D qui forment des structures 2D ou 3D ;

** : Éléments 2D qui forment des structures 3D.

Le paragraphe ci-dessous donne la définition de quelques éléments structurels cités dans le tableau.

- *Piliers, colonnes et arches* : Il s'agit d'éléments ayant une dimension dominante sur les deux autres (éléments unidimensionnels) ce qui permet de définir une ligne d'axe – droite ou courbe – et de sections droites.
- *Murs et voûtes* : Dans ces cas, deux dimensions dominent sur la troisième, le matériau étant toujours éventuellement incapable de reprendre de la traction suivant l'une des directions du plan de la structure (pour les murs), ou de son plan tangent (pour les voûtes).

- *Poutres treillis, treillis spatiaux, dômes en treillis* : ce sont des structures composées de barres liées par des articulations ou des rotules à leurs extrémités et chargées seulement aux nœuds, de telle façon que tout élément de l'ensemble ne soit que comprimé ou tendu. Avec le terme « treillis » on se réfère aux structures ainsi composées ayant forme de poutre, avec « treillis spatiaux » aux assemblages en forme de dalle et avec « dôme treillis » à ceux en forme de voûte. L'assemblage en treillis permet donc de construire des structures complexes en partant d'éléments simples comme les barres.
- *Voiles et coques minces* : Il s'agit d'éléments de structure continus, dans lesquels une dimension est négligeable face aux deux autres, au point qu'on néglige toute hétérogénéité de l'état de contrainte dans l'épaisseur (état de contrainte membranaire). La différence entre les deux types est dans la forme de la surface qui caractérise la géométrie de la structure, plane pour les voiles et courbe pour les coques minces.
- *Ossatures, grillages, gridshells, nexorades*: Toutes ces structures sont composées de poutres (donc d'éléments capables d'exprimer des efforts intérieurs à 6 composantes – 3 forces et 3 moments), mais les différents assemblages jouent sur des interactions différentes entre poutres voisines.
- *Dalles et coques épaisses* : La distinction est la même que pour les voiles et les coques minces, mais ici l'épaisseur est plus importante et on doit en tenir compte, car, en plus des efforts membranaires, le comportement en flexion de ces structures doit être considéré.



1.4 Propriétés générales des matériaux

1.4.1 Élasticité/plasticité

Un matériau *élastique* voit ses déformations disparaître une fois la charge disparue. Certains matériaux restent élastiques jusqu'à la rupture, alors que d'autres rentrent dans le domaine plastique avant la rupture, où les déformations demeurent même après arrêt du chargement. La plasticité d'un matériau lui permet, là où les contraintes sont fortes, de se déformer et de redistribuer les contraintes et ainsi de réduire les contraintes dans la structure sans aller jusqu'à la rupture. On parle alors de comportement ductile. C'est comme si la structure demandait à ce que les éléments moins sollicités viennent à la rescousse de ceux qui en ont besoin : il y a certes une déformation irréversible qui arrive, mais l'intégrité de la structure sera préservée grâce à la redistribution des efforts.

1.4.2 Ductilité/fragilité

L'acier est dit *ductile* alors que le verre est réputé être un matériau *fragile*. Cela signifie simplement que, sous chargement, le matériau ductile se déforme de manière importante avant de rompre et sert de signal pour les personnes se trouvant éventuellement en dessous de la structure. On aurait donc tendance à vouloir privilégier les matériaux ductiles, plus «

transparentes » visuellement dans leur comportement. Par ailleurs, il n'est pas toujours possible de se faire livrer n'importe quel matériau. Il faut donc composer avec les avantages et les inconvénients de chaque matériau, bien les comprendre pour les exploiter au mieux et arriver à un résultat globalement équivalent : une tenue structurale satisfaisante, un ouvrage durable, élégant et fonctionnel.

1.4.3 Rigidité et module de Young

Loi de Hooke : Quand une structure présente un comportement à la fois linéaire et élastique, elle respecte la loi de Hooke, à savoir qu'à tout effort de traction correspond un allongement proportionnel à la valeur de l'effort de traction. Ce n'est pas vrai par exemple d'un élastique, qu'il est de plus en plus difficile d'allonger. Plus un matériau, est rigide, plus son module de Young a une valeur élevée. Néanmoins, pour un même matériau, un élément pliera plus ou moins suivant sa géométrie : une feuille posée entre deux appuis aura tendance à se courber et à tomber entre les deux appuis, alors qu'une feuille pliée en accordéon auparavant restera plus facilement droite entre les deux appuis : on parle alors, non de rigidité, mais de raideur. Idem pour une section d'acier tubulaire par rapport à une section pleine de même surface (voir plus loin les différentes formes de sections). Ou bien encore, on parlera de la raideur plus ou moins grande d'un ressort en acier (qui par nature a un module de Young constant, et une rigidité constante). En un mot, un matériau est plus ou moins rigide alors qu'une structure est plus ou moins raide. On peut ainsi avoir des structures raides avec des matériaux « souples », et inversement, avoir des structures « souples » avec des matériaux rigides. On voit donc que la forme tout autant que les caractéristiques intrinsèques d'un matériau contribuent à la résistance d'ensemble d'une structure.

1.4.4 Moment d'inertie

Un élément structurel plein ne se comporte pas de la même manière qu'un élément creux. Parfois, évider, c'est renforcer une structure. Cela s'explique mathématiquement avec la grandeur appelée le moment d'inertie : il explicite la quantité de matière située loin de l'axe neutre, celui où il y a le moins de sollicitations. Ainsi, plus le moment d'inertie est grand, plus la section sera résistante.

1.4.5 Coefficient de poisson

Il fut défini par Siméon Denis Poisson et permet de relier les déformations longitudinales d'un élément structurel soumis à un effort normal (compression ou traction), avec ces déformations transversales. Plus un élément est comprimé, plus il a tendance à se raccourcir et à « gonfler » transversalement. Inversement, un élément étiré s'allonge dans la direction de la sollicitation et rétrécit dans la direction perpendiculaire, transversale.