

Système d'arrosage automatique

32 – Matériaux et structures – partie 1

Travail sur les matériaux et les structures des constructions.

Durée : entre 1 et 2 heures.

1 – Théorie : Les structures

Depuis que l'Homme est sorti des abris naturels il est contraint à **construire** des abris pour se protéger. D'abord simple et démontables pour pouvoir être transportés, il deviennent de plus en plus complexes, pour former des maisons, puis des édifices de plus en plus gros, le plus souvent destinés à protéger les hommes et le bétail (habitation, châteaux, lieux de culte, puis immeubles et gratte-ciels), mais aussi à faciliter ses déplacements (ponts, viaducs, tunnels), et à accompagner son développement économique (aqueducs, barrages, usines, plateformes offshore).

Au fil des années, les ingénieurs et architectes ont **développé des techniques et des matériaux** permettant de repousser les limites des constructions, toujours plus haut, plus grand, plus loin.

La conception d'une structure doit prendre en compte quatre paramètres principaux :

- **la résistance des matériaux qui la composent**
- **le poids des matériaux**
- **les contraintes extérieures**
- **l'organisation spatiale de ces matériaux**

Les deux premiers paramètres constituent les **contraintes mécaniques**, le troisième correspond aux contraintes auxquelles la structure sera soumise (vent, courants marins, pluie, pression, érosion, tremblements de terre, ...) alors que le quatrième correspond à la solution permettant à la structure de remplir sa fonction de façon durable.

2 – Les matériaux (solides)

On appelle "**matériaux**" les matières premières utilisées sous forme solide pour créer des objets.

Les matériaux sont habituellement classés en trois, quatre ou même cinq classes (ou familles).

Les trois classes de matériaux communes à toutes les classifications sont les suivantes :

- les matériaux **organiques** (ou **polymères**)
- les matériaux **céramiques**
- les matériaux **métalliques**

Certains identifient une quatrième classe, les **matériaux composites**, qui sont des mélanges de plusieurs matériaux appartenant à des classes différentes. Il ne faut pas les confondre avec les alliages, qui sont des mélanges de plusieurs matériaux de la même classe (le plus souvent des métaux).

Et enfin, certains séparent les matériaux organiques en deux classes : les **matériaux organiques naturels** et les matériaux organiques issus de transformations et regroupant **les plastiques, les résines et les caoutchoucs**, créant ainsi une cinquième classe.

Les matériaux organiques d'origine naturelle sont les premiers à être utilisés par l'homme : le bois, le cuir, l'os, dans un premier temps, puis tous les textiles à base de laine, de coton et de soie, et enfin le papier (et le carton), réalisé à partir de fibres végétales.

On parle de polymères naturels, ou "**biopolymères**".

Le reste des matériaux organiques sont des matériaux bien plus récents et bien moins "naturels", même si ils sont constitués à partir de matière d'origine végétale ou animale, soit directement (plastiques fait à base de fibres végétales) soit indirectement, à partir de matière organique "fossile" (pétrole).

Les matériaux céramiques sont les matériaux "inorganiques non métalliques", c'est à dire les matériaux créés à partir des **minéraux** (sable et argile principalement) et donc à base de **silicium** (Si). Les plus courants sont le verre, les terres cuites (grès, faïence, porcelaine, ...), le ciment et les semi-conducteurs.

Attention, certains matériaux céramiques contiennent des atomes de métal dans leur composition, mais ne sont pas considérés comme des matériaux composites car ces atomes de métal ne sont pas liés entre eux comme dans les métaux.

Les métaux (et leurs alliages) ne se trouvent pas (ou très peu) à l'état naturel sous leur forme pure mais sous forme **d'oxydes** mélangés à la terre et à la roche, et doivent pour la majorité être extraits et transformés avant leur utilisation.

Les métaux purs sont très nombreux : plus des trois quart des éléments de la classification sont des métaux !

Les plus connus sont le fer, l'aluminium, le cuivre, le zinc, le nickel, le plomb, l'argent, l'or, ... mais la liste est longue. Le magnésium, le sodium (composant le sel), ou le lithium des batteries de nos appareils électroniques sont aussi des métaux !

Les métaux sont aussi très souvent utilisés sous forme **d'alliages** : fonte, acier, inox, bronze, laiton ... réalisés pour **améliorer les caractéristiques mécaniques** des métaux qui sont le plus souvent peu intéressantes lorsque les métaux sont purs.

Enfin, les matériaux composites sont des mélanges d'au moins deux matériaux de base (polymère, céramique ou métal), distincts à l'échelle macroscopique, ayant des propriétés physiques et mécaniques différentes.

Le mélange est effectué de manière à avoir des propriétés optimales, différentes et en général supérieures à celles de chacun des constituants.

Un composite est constitué au moins d'une **matrice** (liant) et d'un **renfort** (fibres). Les constituants sélectionnés (certains sont multi-fonctions) peuvent améliorer les propriétés suivantes : rigidité, résistance thermomécanique, tenue à la **fatigue**, résistance à la **corrosion**, **étanchéité**, tenue aux chocs, au feu, isolation thermique et/ou électrique, allègement des structures, conception de formes complexes ...

Chaque constituant joue un rôle spécifique :

- la **matrice** est un liant qui protège les fibres et transmet également les sollicitations aux fibres ;
- les **fibres** apportent la tenue mécanique et supportent les sollicitations ;
- les **charges** et **additifs** améliorent les caractéristiques (résistance au feu, aux UV, à l'oxydation ...)

Liens utiles :

Wikipedia : Science des matériaux : https://fr.wikipedia.org/wiki/Science_des_matériaux

Wikipedia : Les polymères : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polymère>

Wikipedia : Les argiles : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Argile>

Wikipedia : Les métaux : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Métal>

Wikipedia : Les Céramiques : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Céramique>

3 – Structures

La réalisation de constructions qui durent dans le temps a fait (et fait toujours) l'objet d'études très poussées.

Le **bio-mimétisme** a donné lieu à des constructions et des techniques encore utilisées, tout simplement parce que la nature a passé des milliers d'années à se perfectionner pour parvenir à des solutions techniques optimales, que l'homme ne fait que reproduire pour ses propres constructions.

Un des exemples les plus connus est celui de la tour Eiffel, dont l'un des concepteurs principaux (Maurice Koechlin) avait étudié la structure des os. Les os ont une structure lacunaire. Il n'y a de la matière que là où il y a des efforts, ce qui les rends beaucoup plus légers, tout en ayant la même résistance !

En reprenant ce principe, la structure de la tour Eiffel n'utilise du métal que là où il y en a besoin : si on place la Tour Eiffel dans un cylindre d'air, son poids ne dépasse pas le poids de l'air compris à l'intérieur du cylindre.

Et la pression que la tour exerce sur ses fondations ne dépasse pas $4,5 \text{ kg/cm}^2$.

D'autres exemples très connus sont la solidité des coquilles des oeufs des animaux dont le principe et la forme ont été repris pour les arches et les voûtes des ponts, des bâtiments et des barrages, ou encore celui des toiles d'araignées, repris pour les ponts suspendus !

L'indéformable triangle : lorsqu'on réalise une construction avec des éléments rigides, la seule solution pour éviter la déformation est d'utiliser des triangles.

Un des exemples les plus connus en architecture est la croix de Saint André, qui sépare un carré en quatre triangles, rendant ainsi le carré indéformable.

Exercice (travail personnel 1) :

Calculez la pression que vous exercez sur le sol lorsque vous vous tenez debout sur la pointe d'un pied, et comparez cette valeur avec la pression exercée par la tour Eiffel sur ses fondations ?

Méthode :

La pression s'exprime en kg/cm^2 . Il faut donc connaître votre poids et la surface occupée par la pointe de votre pied sur le sol.

Pour votre poids, un pèse personne vous donnera une valeur d'une précision largement suffisante.

Pour la surface, vous pouvez par exemple humidifier votre pied, puis vous mettre sur la pointe du pied sur une feuille de papier.

Attention à ne pas trop mouiller votre pied pour que l'eau ne s'étale pas au delà de la surface d'appui. Entourez chaque zone humide rapidement avec un crayon à papier, pour qu'elle reste visible après séchage.

Vous pouvez désormais mesurer la surface d'appui, soit en comptant le nombre de carrés de 1cm de côté occupés par l'empreinte, soit en faisant une approximation à base de carrés et de ronds, et en calculant leur surface. Une mesure approchée suffit, à quelques cm^2 près, mais vous pouvez obtenir une mesure très précise en utilisant du papier millimétré transparent (ou en utilisant du papier millimétré comme support pour prendre votre empreinte, ou en décalquant votre empreinte et en positionnant le calque au dessus d'une feuille de papier millimétré).

Le résultat est largement suffisant avec une feuille à petit carreaux (qui font 5mm de côté, donc 4 petits carreaux font 1cm^2). Vous devriez obtenir un résultat entre 35 et 50cm^2 .

La pression s'obtient en divisant votre poids par la surface d'appui.

Comparez avec la pression exercée par la tour Eiffel sur ses fondations, étonnant non ?

Exercice (travail personnel 2) : un peu de mathématiques

Recherchez le poids de la tour Eiffel, et calculez le poids du plus petit cylindre d'air qui pourrait contenir la tour Eiffel.

Vous aurez besoin pour cela de la taille de la base de la tour Eiffel (attention, c'est un carré). Calculez ensuite la surface du cercle qui contient ce carré, puis le volume d'air en multipliant par la hauteur de la tour Eiffel.

Exprimez toutes les distances en mètres, pour obtenir un volume en m^3 .

Et enfin, passez au poids en multipliant le volume obtenu par le poids d'un m^3 d'air à une pression de 1bar et à une température de 20°C (à chercher sur Internet).