

# EFFORTS INTERNES

## Méthode des coupures / sections

### 1. GENERALITÉS

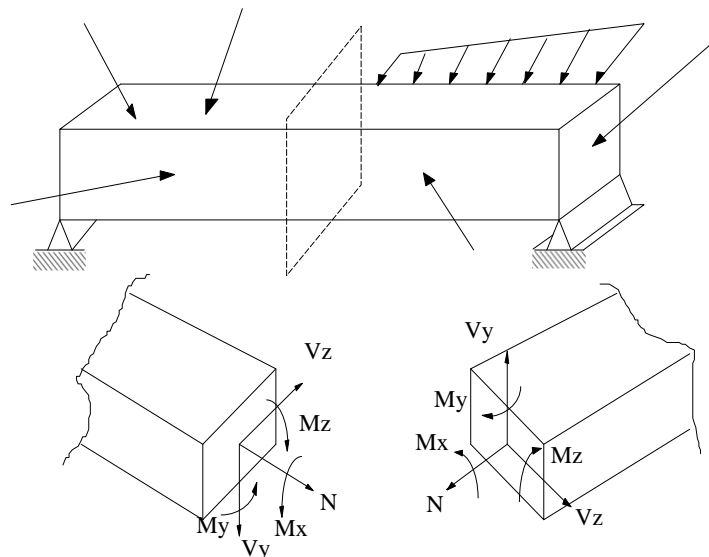
On appelle **forces extérieures** ou **charges** les forces appliquées sur une structure donnée. Ces charges peuvent être réparties avec une densité donnée de volume (poids propre d'une structure) ou concentrées en un certain nombre de points. Dans cette catégorie de forces extérieures figurent aussi les **réactions aux appuis**.

Sous l'effet de ces charges, des **forces de cohésion** s'exercent entre les particules du corps en équilibre : les *efforts internes*.

Afin de faciliter l'étude des efforts exercés sur chaque particule matérielle on considère une **section transversale** d'un élément soumis à des sollicitations. Les efforts internes répartis sur toute la section peuvent être rapportés à un point (par exemple le centre de gravité de la section).

On définit ainsi le **vecteur force F** ( $N$ ,  $V_z$ ,  $V_y$ ) et le **vecteur moment M** ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) résultant des forces internes dans la section avec :

- $N$  est l'**effort normal** (composante selon l'axe  $x$ )
- $V_y$  et  $V_z$  sont les **efforts tranchant** (noté également  $T$ ) selon les axes  $y$  et  $z$
- $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  sont les moments autour des axes  $x$ ,  $y$ ,  $z$



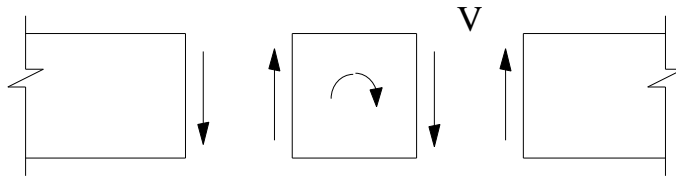
#### 1.1 Effort Normal

La composante  $N$  de la résultante  $F$  représente la somme des projections de toutes les forces intérieures agissant suivant la normale de la section (ou **suivant l'axe longitudinal de l'élément**). L'effort normal provoque une **déformation longitudinale** de l'élément.

$N$  est considéré **positif** s'il s'agit d'une **traction** et **négatif** dans le cas d'une **compression**.

## 1.2 Efforts tranchants

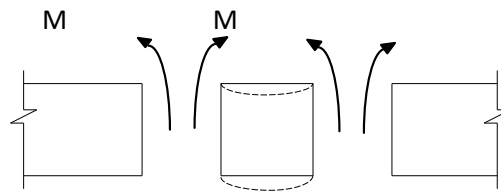
Les forces transversales  $V_z$ , et  $V_y$  sont les sommes des projections de toutes les forces intérieures dans la section sur les axes centraux principaux de cette dernière. Ces efforts tranchants provoquent le **cisaillement** des bords de la section respectivement dans la direction des axes Z et Y. Le sens de V sur le plan est positif par convention dans ce cours quand il tend à faire tourner un élément entre deux sections dans le sens des aiguilles d'une montre comme indiqué sur la figure suivante :



## 1.3 Moments fléchissant

Les composantes  $M_y$ , et  $M_z$  du vecteur moment résultant représentent les sommes des moments de toutes les forces intérieures dans la section, par rapport aux axes principaux de cette dernière Y et Z respectivement.

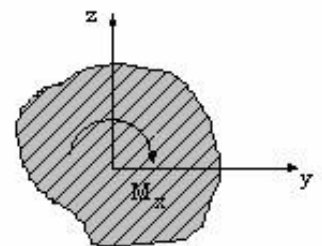
La figure suivante indique le sens positif des moments dans le plan qui par convention tend les fibres inférieures et comprime les fibres supérieures de la section.



Dans le cas d'un problème plan sur une poutre, on ne considère en général que le moment selon l'axe horizontal perpendiculaire à l'axe longitudinal, **responsable de la flexion** de la poutre et il est noté **Mf**.

## 1.4 Moment de torsion

Le moment de torsion  $M_x$  (ou **Mt**) est la somme des moments de toutes les forces intérieures dans la section par rapport à l'axe de la barre X. Le moment de torsion est positif lorsqu'il tend à tourner la section dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (sens trigonométrique) en regardant la section du côté de la normale extérieure.



## 2. MÉTHODE DES COUPURES ou DES SECTIONS

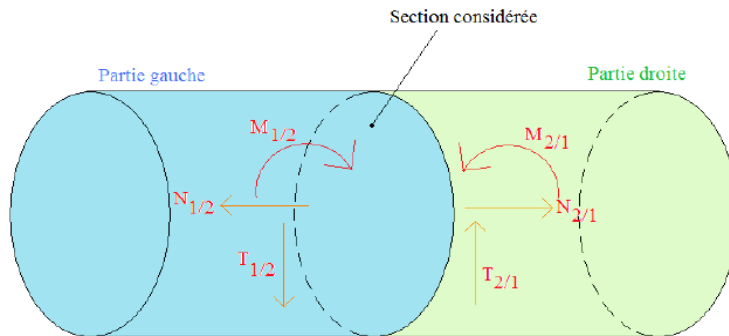
Les efforts internes **varient** selon l'endroit de la structure et selon les efforts externes auquel elle est soumise. Il est important de connaître ces efforts internes **en tout point** afin de déterminer les contraintes internes et de les comparer aux valeurs limites acceptables.

Pour déterminer les efforts internes en tout point, on peut utiliser la méthode des coupures (ou des sections). Elle permet de **visualiser la variation de ces efforts internes** sous forme de **diagrammes**.

## 2.1 Principe de la méthode

Pour une section donnée, il y a **équilibre des forces et des moments** entre la partie droite et la partie gauche d'une section considérée.

Ex :



Les efforts internes que la partie droite applique sur la partie de gauche sont les opposés des efforts que la partie gauche applique sur la partie droite.

On « conserve » la partie de gauche (ou la partie de droite) et on considère les efforts internes qui s'appliquent sur la partie de gauche (/ de droite) comme s'il s'agissait de forces et moments externes qui maintiennent la partie considérée à l'équilibre. On choisit en général de conserver la partie (gauche ou droite) de l'élément sectionné où les projections et les moments se calculent plus facilement.

## 2.2 Les coupures

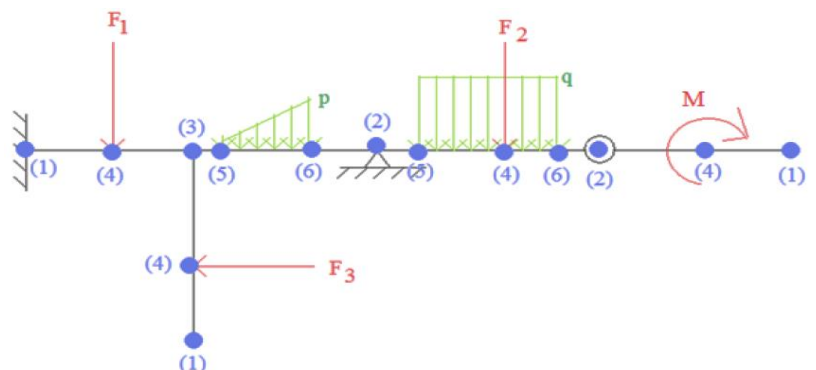
On effectuera une coupure **entre chaque singularité** (voir principe de Saint Venant) :

Une singularité de la structure ou du chargement est :

- Une extrémité de la structure (avec ou sans liaison) (1)
- Une liaison intérieure ou extérieure (2)
- Un changement de poutre (3)
- Une force ponctuelle (ou un moment ponctuel) (4)
- Un début de charge répartie (en force ou en moment) (5)
- Une fin de charge répartie (en force ou en moment) (6)

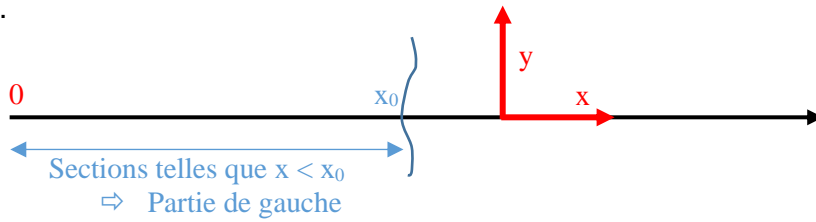
### Exemples de singularités :

Les positions des singularités sont représentées par le symbole suivant ●



### 2.3 Conservation d'une partie (partie de gauche)

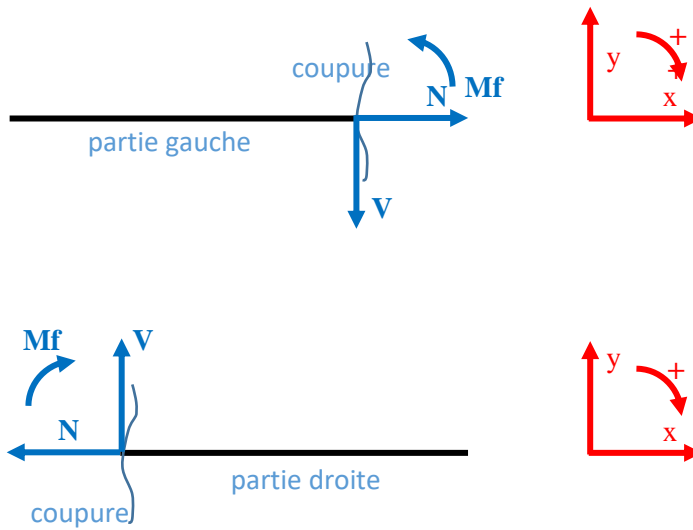
La **partie gauche** d'une coupure est constituée des sections d'abscisses inférieures à l'abscisse de la coupure  $x_0$ .



La partie droite d'une coupure est constituée des sections d'abscisses supérieures à l'abscisse de la coupure  $x_0$ .

### 2.4 Dessin des efforts et moments

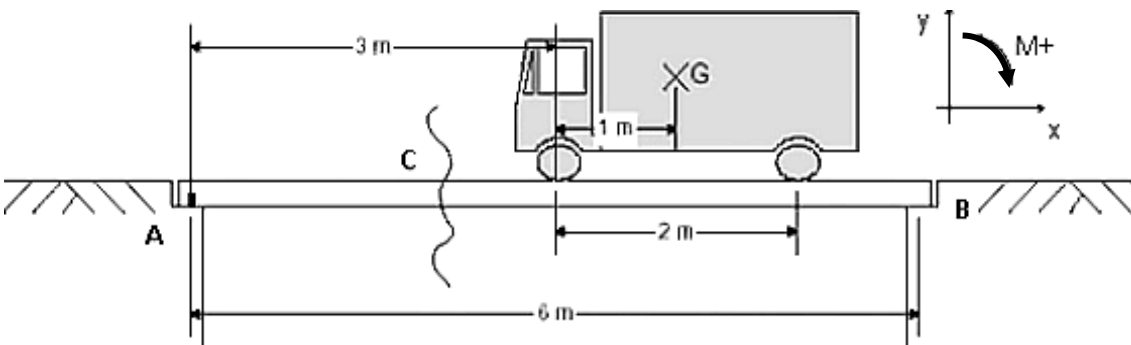
Il convient de dessiner les vecteurs selon la convention choisie et selon la partie conservée.



### 2.5 Calcul de N, V et Mf

On applique le PFS sur la partie conservée en prenant en compte N, V, Mf.

### 2.6 Exemple : Trouver les efforts internes en C



Liaison tablier/véhicule : appuis simples  
 Poids propre du tablier (poutre & dalle) : 45 kN/m  
 Masse du véhicule 45 kN  
 On « coupe » la poutre en C.