

Chapitre 4 : Traction simple

4.1. Définition :

Une pièce est soumise à de la traction simple si l'ensemble des efforts extérieurs agissant sur l'une des extrémités ou les deux extrémités équivaut à une force unique, dirigée selon l'axe et passant par le centre de gravité de la section étudiée (Figure 4.1).

- La section de la pièce est entièrement et uniformément tendue.
- Le centre de gravité est confondu avec celui des armatures.
- Les pièces soumises à la traction seront appelées des tirants

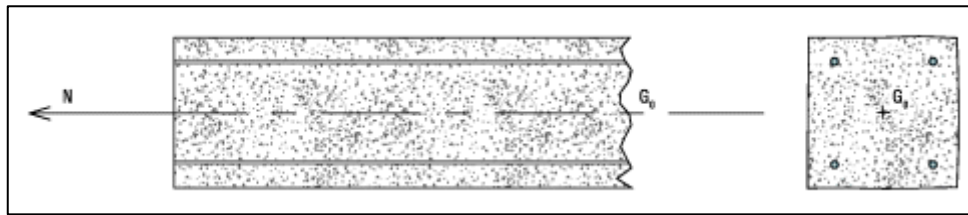


Figure. 4.1. Pièce soumise à la traction simple

Il existe des tirants rectilignes en béton armé (Figure 4.2.) qui sont utilisées principalement pour les couvertures voûtées de bâtiments industriels ou d'édifices tels que les mosquées, ces éléments résistent intégralement à la traction par leurs armatures longitudinales. Les armatures transversales n'assurent quant à elles qu'une fonction de montage (maintenir les barres lors du bétonnage). La conception optimisée exige une section de béton minimale (pour réduire le poids mort), et une répartition uniforme et symétrique des barres longitudinales dans la section, garantissant l'équilibre mécanique (privilégier une disposition symétrique, sans nécessairement imposer un nombre pair de barres).

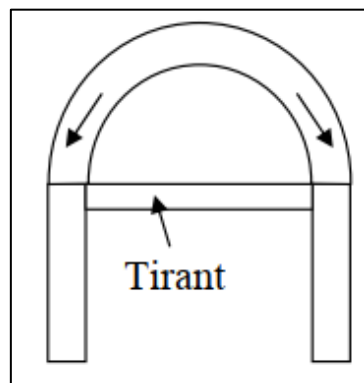


Figure.4.2. Tirant rectiligne en béton armé

Il existe également des tirants circulaires (Figure. 4.3) qui sont utilisés principalement pour contenir les poussées radiales dans les parois de réservoirs circulaires (eau, hydrocarbures) et silos (stockage de granulés ou poudres), ces éléments agissent comme des *anneaux de confinement*.

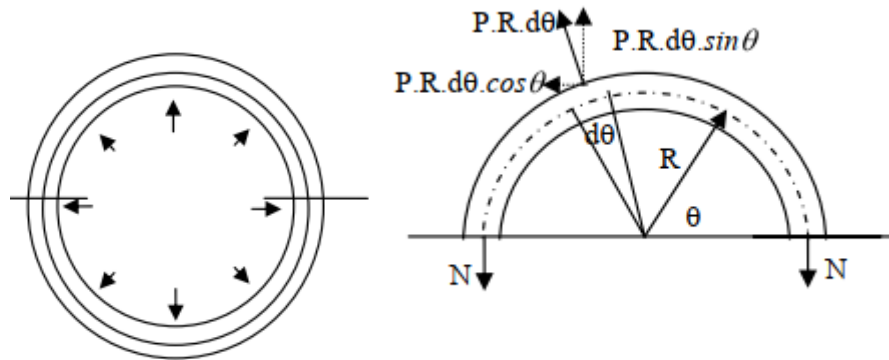


Figure 4.3. Tirant circulaire

4.2. Hypothèses de calcul

En traction pure, le calcul considère que :

- Le béton tendu est négligé (sa résistance n'est pas mobilisée) ;
- L'intégralité de l'effort de traction est repris par les armatures ;
- L'homocentré des sections est assuré (centres de gravité du béton et des aciers confondus) ;
- La contrainte de l'acier est déterminée selon :
 - À l'ELU : Déformation maximale des aciers fixée à $\varepsilon_{st} = 10 \text{ ‰}$ (domaine du pivot A) ;
 - À l'ELS : Contrainte limitée en fonction du degré de fissuration (peu nuisible, préjudiciable ou très préjudiciable).

3.3. Détermination des armatures :

3.3.1. Calcul à l'état limite ultime de résistance :

La vérification de sécurité exige que l'effort de traction sollicitant N_u (induits par les charges appliquées) ne dépasse jamais l'effort résistant limite $N_{u,lim}$ que l'élément peut supporter (Equation 4.1):

$$N_u \leq N_{u,lim} \quad (\text{Eq.4.1})$$

Avec:

N_u : Effort normal ultime de traction : $N_u = 1.35G + 1.5Q$.

$N_{u,lim}$: Capacité portante ultime de la section, déterminée par la résistance des armatures, calculer par l'équation suivante :

$$N_{u,lim} = A_{st}^u \times f_{su} \quad (\text{Eq.4.2})$$

A_s : Section totale d'acier longitudinal.

f_{su} : Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU, est donnée par l'équation ci-dessous :

$$f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad (\text{Eq.4.3})$$

Avec $\gamma_s = 1.15$

L'égalité des équations (Eq.4.1, 4.2 et 4.3) permet de déduire l'équation 4.4 :

$$N_u \leq N_{u,lim} = A_{st}^u \times f_{su} = A_{st}^u \times \frac{f_e}{\gamma_s} \quad (\text{Eq.4.4})$$

D'où :

$$A_{st}^u \geq \frac{N_u}{f_{su}} = \frac{N_u}{\left(\frac{f_e}{\gamma_s}\right)} \quad (\text{Eq.4.5})$$

4.3.2. Calcul à l'état limite de service:

En traction simple, le béton est toujours fissuré sous charge de service (hypothèse de calcul). Cette fissuration inévitable impose une vérification systématique à l'ELS afin de maîtrise de la fissuration (ouverture et espacement des fissures) et d'assurer la durabilité (protection des armatures contre la corrosion).

Selon la condition d'équilibre statique :

$$N_{ser} = A_{st}^{ser} \times \overline{\sigma}_{st} \quad (\text{Eq.4.6})$$

Avec

Avec : N_{ser} : l'effort normal de traction à l'ELS : $N_{ser} = G + Q$.

$\overline{\sigma}_{st}$: Contrainte limite dépendant du degré de fissuration (Voir le tableau 4.1).

Tableau 4.1. Contrainte admissible du béton

Type de fissuration	Contrainte admissible $\overline{\sigma}_{st}$
Peu nuisible	$\overline{\sigma}_{st} = f_e$
Préjudiciable	$\overline{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e, 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right\}$
Très préjudiciable	$\overline{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{1}{2} f_e, 90 \sqrt{\eta f_{tj}} \right\}$

Pour les fissurations préjudiciable/très préjudiciables, l'ouverture de fissure est donnée par l'équation suivante:

$$w_k = e_{r,max} \times \varepsilon_{sm} \leq w_{max} \quad (\text{Eq.4.7})$$

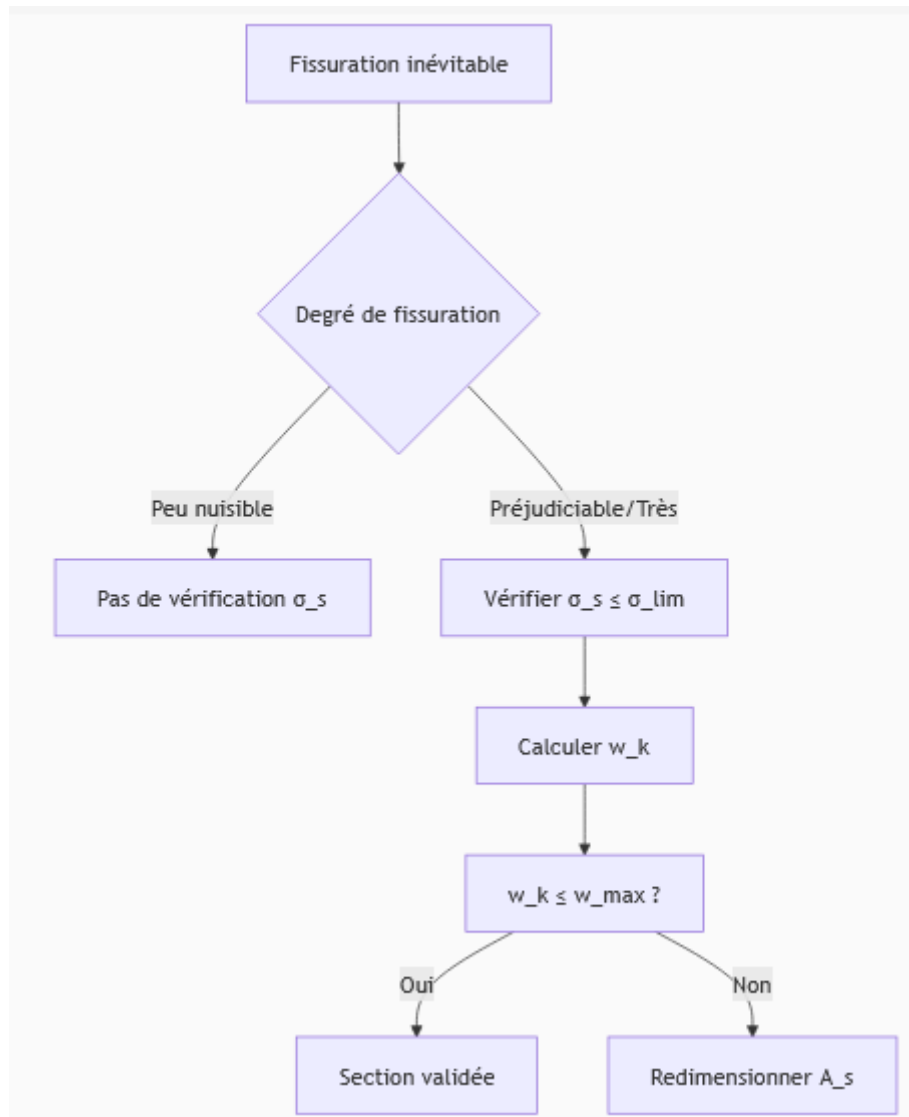
Avec :

- $e_{r,max}$: Espacement maximal des fissures
- $\varepsilon_{sm} \leq$: Allongement relatif moyen de l'acier
- w_{max} : Valeur limite (ex: 0.2 mm pour étanchéité)

La section d'armatures tendues est donnée par l'équation 4.8 :

$$A_{st}^{ser} = \frac{N_{ser}}{\overline{\sigma}_{st}} \quad (\text{Eq.4.8})$$

L'organigramme suivant résume la vérification de la section d'armature tendue à l'ELS:



4.3.3. Condition de non-fragilité :

La condition de non-fragilité garantit qu'une section de béton armé ne rompe pas brutalement lors de la fissuration du béton. Elle impose que les armatures soient suffisantes pour reprendre l'effort initialement supporté par le béton tendu au moment où celui-ci se fissure. En effet, la vérification de cette condition permet d'éviter une rupture fragile (sans avertissement) et assurer une ductilité minimale (Si le béton se fissure, les aciers doivent immédiatement prendre le relais sans provoquer l'effondrement de l'élément).

Pour une pièce soumise à traction simple : la section minimale est donnée par l'équation suivante (Equation 4.9)

$$A_{smin} \geq \frac{B \cdot f_{t28}}{f_e} \quad (\text{Eq.4.9})$$

A_{smin} : Section minimale d'acier.

B : Section totale du béton tendu.

f_{t28} : Résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours.

f_e : Limite élastique de l'acier.

- Le béton non armé fissure sous la contrainte f_{t28} .
- Les armatures doivent reprendre intégralement cet effort sans dépasser f_e .

Du point de vue résistance : la section du béton B peut être quelconque, mais pour que la pièce ne soit pas fragile, il faut que cette section vérifie la condition de non fragilité (Equation 4.10) :

$$B \geq \frac{A_{st} \cdot f_e}{f_{t28}} \quad (\text{Eq.4.10})$$

4.3.4. Section théorique à retenir :

La section retenue A_{st} doit satisfaire simultanément (Equation 4.11):

- La résistance mécanique (ELU)
- Les exigences de service (ELS)
- Le seuil minimal réglementaire

$$A_{st} = \max\{A_{st}^u, A_{st}^{ser}, A_{min}\} \quad (\text{Eq.4.11})$$