



**TP 12 : COMPORTEMENT D'UNE POUTRE EN BETON ARME EN
FLEXION 4 POINTS**



COMPORTEMENT D'UNE POUTRE EN BETON ARME EN FLEXION 4 POINTS

I. Buts des essais

1.1. Objectifs ciblés

Ces essais visent à caractériser le comportement mécanique d'une poutre en béton armé soumise à une flexion simple (dispositif de flexion 4 points). Les objectifs principaux consistent à :

1. Observation physique

Identifier les phases successives de comportement, de l'état élastique non fissuré jusqu'à la plastification des armatures, aboutissant à la rupture finale (écrasement du béton ou rupture de l'acier).

2. Analyse structurelle

Suivre l'évolution de la flèche et la cinématique d'ouverture des fissures en fonction de la charge incrémentale.

3. Validation théorique

Confronter les valeurs expérimentales, notamment le moment de fissuration M_{CR} et la charge ultime (P_U) aux modèles règlementaires issus du BAEL ou de l'Eurocode 2.

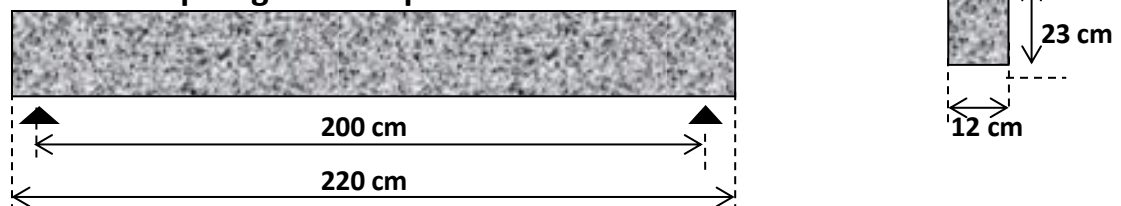
1.2. Apports méthodologiques

L'expérimentation permet de maîtriser l'instrumentation de précision (cellule de charge, jauges de déformation et comparateurs) afin de tracer les courbes caractéristiques (Charge -Flèche, Moment-Courbure). Cette corrélation entre modélisation théorique et réalité physique est cruciale pour valider la sécurité des ouvrages.

L'analyse visuelle de la propagation des macro-fissures (inclinaison, espacement) complète ces données quantitatives par une compréhension qualitative du mode de rupture.

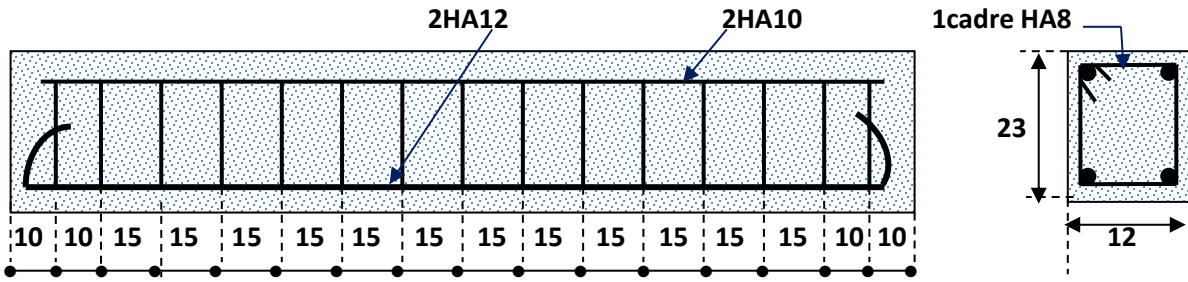
II. Dispositif expérimental et Matériaux

2.1. Caractéristiques géométriques



La poutre étudiée présente une section rectangulaire de 12 x 23 cm pour une longueur totale de 220 cm. La portée de calcul (L) entre nus des appuis simples est fixée à 200 cm.

2.2. Ferrailage et Dispositions Constructives



Le ferrailage est optimisé pour répondre aux sollicitations de flexion et de cisaillement :

1. Armatures longitudinales inférieures

2HA12 ($A_{s1} = 2,26 \text{ cm}^2$) pour la reprise des efforts de traction.

2. Armatures longitudinales supérieures

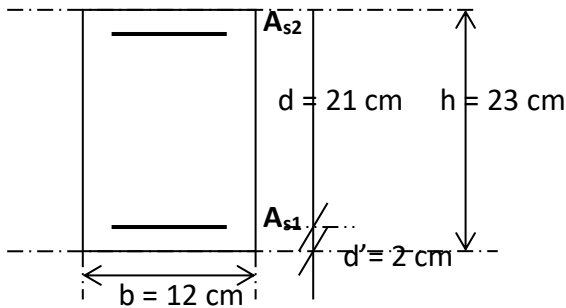
2HA10 ($A_{s2} = 1,57 \text{ cm}^2$) servant d'armatures de montage.

3. Armatures transversales

Cadres HA8 avec un espacement resserré aux appuis (10 cm) pour parer à l'effort tranchant maximal, passant à 15 cm en zone courante.

4. Enrobage (c)

Fixé à 2 cm pour assurer la durabilité et l'adhérence acier-béton.



$$A_{s2} = 2\phi 10 = 1,57 \text{ cm}^2 = \text{armature de montage}$$

$$A_{s1} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

$$P_{\text{poutre}} = 25 \times 23 \times 12 \times 10^{-4} = 0,69 \text{ kN/m}$$

$$d' = 2 \text{ cm}$$

2.3. Propriétés des matériaux

1. Béton

Classe de résistance : $f_{ck,28} = 35 \text{ MPa}$ avec un module d'élasticité longitudinal $E_{cm} = 34\,077 \text{ MPa}$ (*)

(*) Calcul de E_{cm}

La formule empirique généralement utilisée pour estimer le module moyen est (Eurocode 2) :

$$E_{cm} = 22\,000 \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$$

$$f_{cm} : \text{résistance moyenne} = f_{ck} + 8$$

$$f_{ck} : \text{résistance sur cylindre} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 \text{ MPa}$$

Soit,

$$E_{cm} = 22\,000 \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 34\,077,146 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} \approx 34\,077 \text{ MPa}$$

2. Acier

Haute adhérence (HA) de nuance : $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$E_s = 200\,000 \text{ MPa}$ (valeur conventionnelle)

2.4. Montage de charge (Flexion 4 points)

L'essai utilise une presse hydraulique équipée d'un palonnier pour transformer la charge ponctuelle P en deux charges égales $P/2$. Ce montage permet de dissocier les comportements :

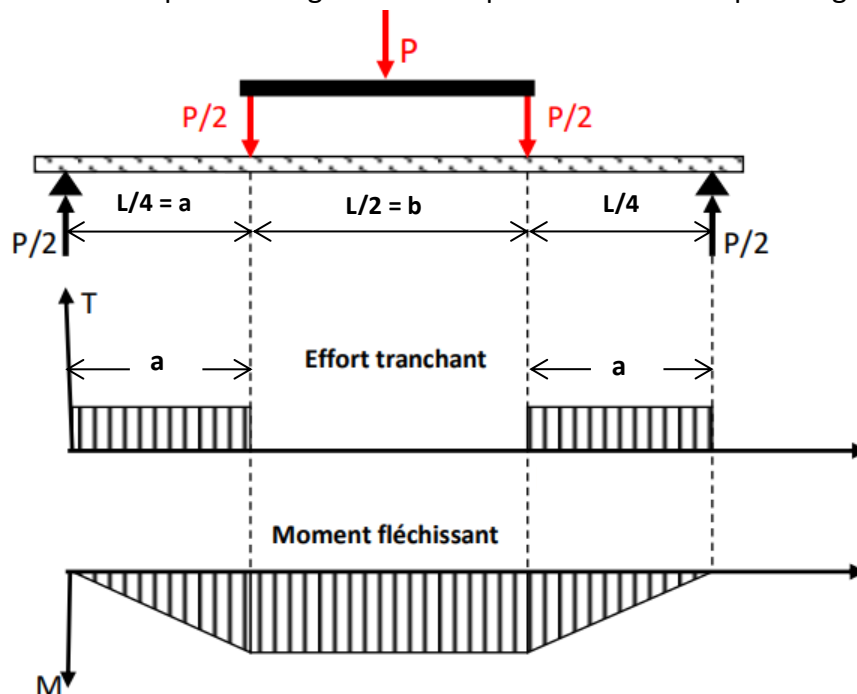
1. Zone de flexion pure (centrale)

Comprise entre les deux points d'application de la charge. L'effort tranchant V y est nul et le moment fléchissant M est maximal et constant ($M = Pa/2$), facilitant l'étude de la fissuration verticale.

2. Zone de flexion simple (latérales)

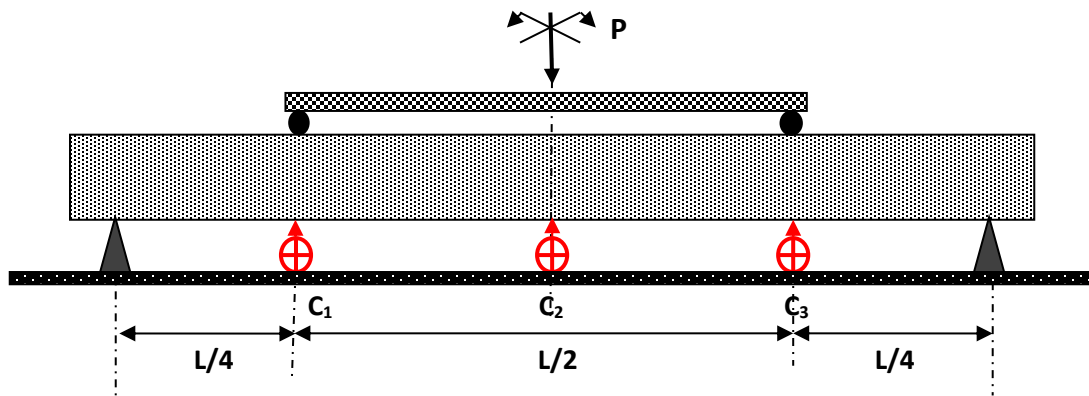
Entre les appuis et les points de charge, où l'effort tranchant est constant, permettant d'observer la fissuration inclinée caractéristique de l'effort tranchant.

Une représentation schématique du chargement de la poutre est donnée par la figure ci-dessous :



III. Instrumentation et Mode Opératoire

3.1. Dispositif de mesure



L'instrumentation est conçue pour capturer simultanément la réponse globale de la poutre et son comportement local :

1. Mesure des flèches (déformations globales)

Trois comparateurs de précision au 1/100 mm sont disposés sous la fibre inférieure pour suivre la cinématique de la poutre :

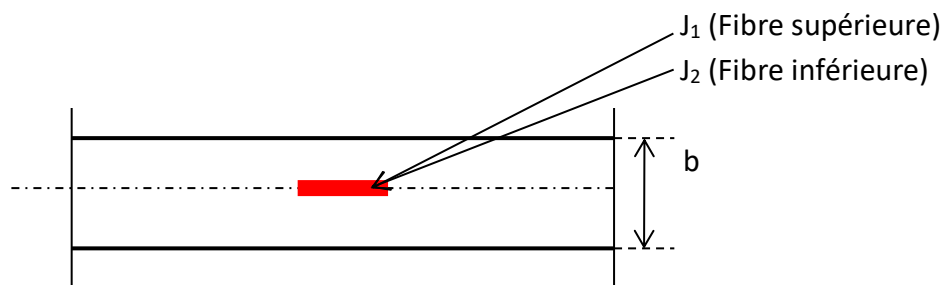
- C_1 et C_3 : Placés aux quarts de la portée ($L/4$ et $3L/4$) afin de vérifier la symétrie de la déformée.
- C_2 : Placé à mi-travée ($L/2$) pour mesurer la flèche maximale, donnée fondamentale pour valider l'inertie de la section fissurée.

2. Déformation locale (Béton et Acier)

Deux jauges de déformation (J_1 et J_2) sont collées à mi-travée, l'une sur la face supérieure (J_1) et l'autre sur la face inférieure (J_2) :

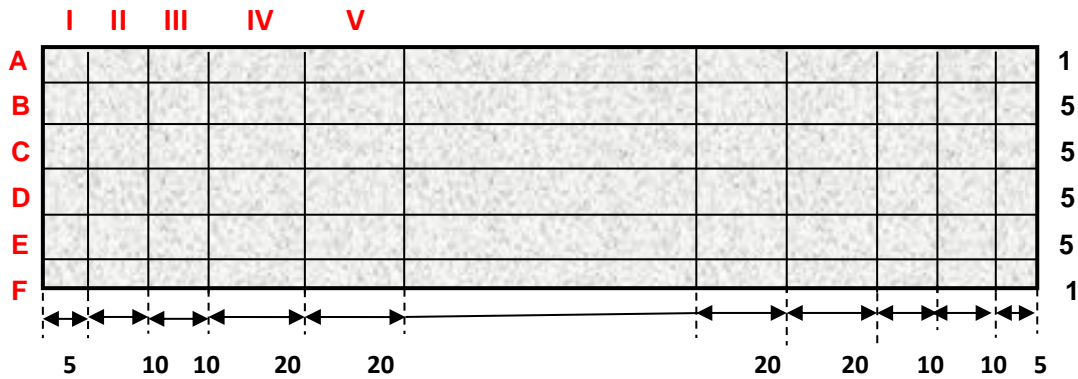
- J_1 : Mesure la déformation de compression du béton.
- J_2 : Mesure la déformation de traction.

Ces mesures permettent de situer l'axe neutre et valider l'hypothèse de Bernoulli (sections planes).



3. Cartographie de la fissuration

Pour relever avec précision l'apparition, le cheminement et l'espacement des fissures à chaque palier de chargement, une face latérale de la poutre est quadrillée (Lignes A à F, Colonnes I à V).



4. **Ouverture des fissures** : L'ouverture des fissures est mesurée à l'aide d'un fissuromètre optique (loupe graduée) ou d'un réglet de précision pour vérifier les critères de durabilité.

3.2. Procédure de chargement

L'essai suit un protocole rigoureux pour assurer la stabilité des mesures :

1. Conditions aux limites

Vérifier la liberté de mouvement des appuis pour garantir un schéma isostatique (un appui fixe et un appui à rouleur).

2. Mise en place

Positionner la poutre sur ses appuis, puis installer le palonnier de répartition et l'instrumentation (comparateurs C_i et jauges J_i) conformément aux plans de mesure.

3. Calibrage

Vérifier la course des comparateurs mécaniques et effectuer quelques cycles de pré-chargement à faible intensité (environ 2-5 kN) pour "asseoir" le montage et vérifier la réponse de l'acquisition.

4. Initialisation

Procéder à la mise à zéro (tare) de tous les capteurs. Cette valeur constituera la référence pour le calcul des flèches et des déformations.

5. Chargement par paliers

Appliquer la charge par paliers successifs de 10 kN.

Note technique

Paliers de chargement : Le choix de 10 kN par palier est une bonne base, mais il est souvent utile de préciser qu'à l'approche de la charge de fissuration théorique (P_{CR}) et de la charge ultime (P_U), les paliers peuvent être réduits à 5 kN pour capturer plus finement les changements de comportement.

Stabilisation : Il est recommandé de marquer un temps d'arrêt (environ 1 à 2 minutes) à chaque palier pour laisser les déformations se stabiliser avant de prendre les mesures.

Sécurité : Il est toujours bon de rappeler le retrait des appareils de mesure (comparateurs) juste avant la rupture pour éviter de les endommager.

6. Acquisition des données

À chaque palier, après stabilisation de la charge, relever :

- Les flèches via les comparateurs C_1 , C_2 et C_3 .
- Les déformations locales des fibres extrêmes via les jauges J_1 et J_2 .

7. Suivi de la fissuration

Sur la face quadrillée, identifier les nouvelles fissures, noter la charge correspondante, et mesurer l'espacement ainsi que l'ouverture (largeur moyenne) à l'aide du fissuromètre.

8. Phase de rupture

Poursuivre le chargement jusqu'à la ruine de l'élément.

9. Observation post-rupture

Mentionner l'analyse du mode de rupture final (rupture par flexion, rupture par effort tranchant, ou écrasement du béton) pour conclure l'essai.

IV. Analyse et exploitation des résultats

41. Travaux à réaliser

L'exploitation des données vise à caractériser les transitions entre les différents états limites de la poutre.

1. Analyse globale (Rigidité et Déformée)

- Courbes Charge-Flèche ($P - \Delta$) : Tracer les courbes pour $x = L/4$ et $x = L/2$ pour identifier la perte de rigidité dès l'apparition des premières fissures.
- Tracé de la déformée : Pour chaque palier significatif, représenter la ligne moyenne de la poutre via les points C_1 , C_2 et C_3 .

2. Analyse locale de la section médiane (Navier)

- Diagrammes de déformation (Navier) : Tracer la distribution des déformations sur la hauteur de la section pour chaque palier.
- Axe neutre (x) : Dédurre par interpolation linéaire la position de l'axe neutre. Sa remontée progressive vers la fibre comprimée témoigne de la dégradation de la zone tendue.
- Calcul de la courbure (ϕ) : Elle est obtenue par la pente du diagramme de Navier :

$$\phi = \frac{\varepsilon_{bc} + \varepsilon_{st}}{d}$$

4.2. Synthèse du comportement (Diagramme Moment-Courbure)

Le tracé $M = f(\phi)$ est l'objectif final. Il permet de distinguer :

- Etat I (non fissuré) : Détermination de la rigidité initiale $(EI)_0$.
- Point de fissuration : Identification du moment de fissuration M_{CR} .
- Etat II (fissuré) : Évaluation de la rigidité dégradée.
- Ruine : Identification du plateau plastique et de la capacité portante ultime.

4.3. Comparaison Théorie/Expérience

Une confrontation rigoureuse est établie entre les prévisions réglementaires et la réalité physique à travers un tableau comparatif (M_{CR} , P_{CR} , P_U , flèche à l'ELS).

1. Analyse des écarts

Commenter les écarts observés en explorant les pistes suivantes :

- Incertitudes sur les matériaux : Différence possible entre la résistance théorique (f_{ck}) et la résistance réelle du béton au jour de l'essai.
- Conditions d'appui : Influence des frottements réels aux appuis par rapport au modèle isostatique parfait.
- Instrumentation : Précision des lectures et calage des capteurs.

2. Interprétation du mode de rupture

Expliquer si le mode de rupture observé en vous basant sur le faciès de fissuration final :

- Rupture ductile (Pivot A) : Allongement important des armatures (fissures larges) avant écrasement du béton.
- Rupture fragile (Pivot B) : Ecrasement brutal du béton comprimé sans signe précurseur de grande déformation des aciers.
- Rupture par effort tranchant : Fissures inclinées à environ 45° au voisinage des appuis.

TP 12 : COMPORTEMENT D'UNE POUTRE EN BETON ARME EN FLEXION 4 POINTS



Fiche des résultats

Béton	Age = (jours)	$f_{cj} =$ (MPa)
	Affaissement = (cm)	$f_{ct,j} =$ (MPa)
Charges (kN)		
Moment fléchissant (kNm)		
Extensométrie (jauges) : ϵ_{cb} et ϵ_{cb}'	J₁ (Fibre supérieure)	
	J₂ (Fibre inférieure)	
Comparateurs (Flèche) (mm)	C₁ (L/4)	
	C₂ (Mi-portée)	
	C₃ (3L/4)	
Fissuration (mm)	Ouverture maximale	
Position de l'axe neutre (x) (mm)		

Observations finales (Après rupture)

Charge de fissuration expérimentale (P_{CR}) : kN

Charge de rupture expérimentale (P_U) : kN

Type de rupture observé : Cocher la case correspondante

- Rupture ductile
- Rupture fragile
- Rupture par effort tranchant

Physionomie de la rupture : Décrire la répartition des fissures et l'état final de la poutre