

SOMMAIRE

1.	OBJET	3
2.	DOMAINE D'APPLICATION	4
3.	DÉFINITION DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES	5
3.1	Actions	5
3.2	Analyse pour les sollicitations	6
3.3	Synthèse sur les procédures de calcul	15
4.	CONCEPTION DE LA SIMPLIFICATION RELATIVE À LA DISPOSITION DES CHARGES	17
4.1	Hypothèses	17
4.2	Disposition des charges et schémas statiques considérés	17
4.3	Vérification numérique	21
5.	CONCEPTION DE LA SIMPLIFICATION RELATIVE À L'ANALYSE PLASTIQUE DU SYSTÈME	24
5.1	Pas initial	24
5.2	Calcul du système réel continu élastique, dans les conditions de l'état limite de service, c'est à dire avec les charges non pondérées	25
5.3	Calcul du système dans les conditions de l'état limite ultime, c'est à dire avec les charges non pondérées	26
5.4	Vérification de la rotation	28
6.	MODALITÉS D'EXÉCUTION ET D'INTERPRÉTATION DES ESSAIS	30
6.1	Caractéristiques à déterminer par essais	30
6.2	Interprétation des essais	30
7.	CHARGES DE CONSTRUCTION LORS DU COULAGE DU BÉTON	32
8.	MÉTHODE D'ANALYSE PLASTIQUE SIMPLIFIÉE	34
8.1	Principes de la méthode	34
8.2	Développements de la méthode	35
9.	EXEMPLE DE L'ANALYSE SIMPLIFIÉE	44
9.1	État limite de service, vérification sur le système réel	45
9.2	Résistance à l'état limite ultime	46
10.	RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE	49
10.1	Autres normes	50
10.2	Autres textes	50
	ANNEXE 1 : Résultat de l'étude numérique sur l'influence de la position des charges de chantier, phase coulage	52
	A 1.1 Calcul avec positions symétriques des charges	52
	A 1.2 Calcul avec positions des charges engendrant les effets maximums	53
	ANNEXE 2 : Résultats de l'étude numérique sur l'influence de la simplification de l'analyse plastique, phase coulage	55

3. DÉFINITION DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

3.1 Actions

Conformément à la norme **NF EN 1994-1-1**, les charges suivantes doivent être prises en compte en phase de construction :

- poids propre du béton frais et du coffrage ;
- charges de construction y compris l'accumulation locale du béton en cours de construction, selon la norme **NF EN 1991-1-6** [3] ;
- effet de « mare » (augmentation de l'épaisseur du béton due à la flèche des tôles), lorsque la flèche centrale δ des plaques sous leur poids propre ajouté à celui du béton frais, calculée à l'état de service, est supérieure à un dixième de la hauteur hors-tout de la dalle.

Ces charges sont détaillées dans la norme **NF EN 1991-1-6**, qui précise les composantes suivantes des actions dues aux charges de construction lors du coulage du béton :

- Q_{cc} = poids propre du coffrage ;
- Q_{ca} = personnel d'exécution utilisant des équipements légers de chantier ;
- Q_{cf} = poids du béton frais.

Les valeurs suivantes des charges de construction sont recommandées par cette norme :

- action variable (1), à l'extérieur de l'aire de travail, égale à $0,75 \text{ kN/m}^2$, correspondant à Q_{ca} ;
- action variable (2), correspondant à la somme des charges Q_{ca} (voir ci-dessus) + Q_{cf} (accumulation locale du béton frais), à l'intérieur de l'aire de travail $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (ou la portée de la travée si elle est inférieure) égale à 10% du poids propre du béton mais au moins $0,75 \text{ kN/m}^2$ et au plus $1,5 \text{ kN/m}^2$;
- action permanente (3) agissant dans « l'aire réelle », composée de la charge Q_{cc} (poids propre du coffrage) et Q_{cf} (poids propre du béton frais pour l'épaisseur de calcul de la dalle, incluant l'effet de mare).

Les exemples de dispositions des actions sont montrés dans cette norme de façon schématique suivante :

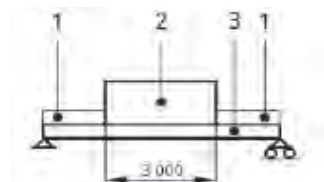


Figure 3.1 : Poutre sur deux appuis.

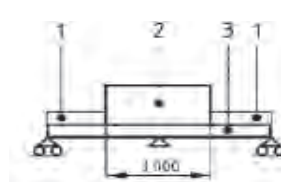


Figure 3.2 : Poutre sur trois appuis.

Pour se placer en sécurité, on procède à la construction d'une « enveloppe basse » des valeurs de mesure, comme illustré sur la Figure 3.6 :

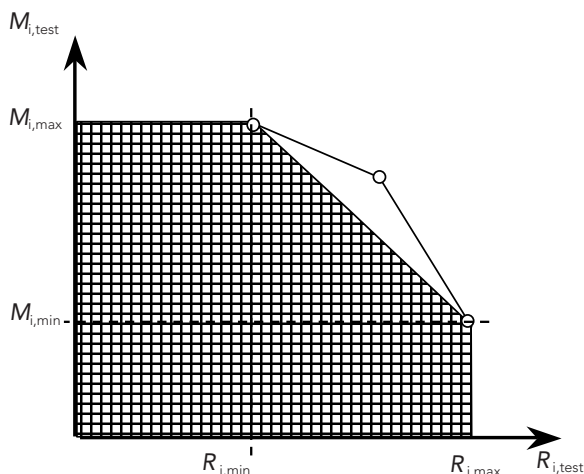


Figure 3.6 : Résistance combinée Moment- Réaction obtenue avec une « enveloppe basse ».

Dans cette situation, à l'état limite de service, les conditions à respecter s'écrivent (cf. réf. [⊙], [⊕], [⊗]) :

$$M_{i,Es} \leq M_{i,max} \quad (\text{Éq. 3.2.1a}) ;$$

$$R_{i,Es} \leq R_{i,max} \quad (\text{Éq. 3.2.2a}) ;$$

$$\frac{M_{i,Es}}{\alpha_M M_{i,max}} + \frac{R_{i,Es}}{\alpha_R R_{i,max}} \leq 0,9 \quad (\text{Éq. 3.2.3a}) ;$$

où le coefficient 0,9 correspond à la réserve de sécurité de 10% mentionnée précédemment.

Remarque

En toute rigueur, cette réserve de sécurité ne devrait s'appliquer qu'aux éléments de structures ayant individuellement une fonction porteuse pendant la durée de vie de l'ouvrage.

$$\alpha_M = \frac{\eta_M \eta_R - 1}{\eta_M (\eta_R - 1)} \quad \alpha_R = \frac{\eta_M \eta_R - 1}{\eta_R (\eta_M - 1)}$$

$$\eta_M = \frac{M_{i,max}}{M_{i,min}} \quad \eta_R = \frac{R_{i,max}}{R_{i,min}}$$

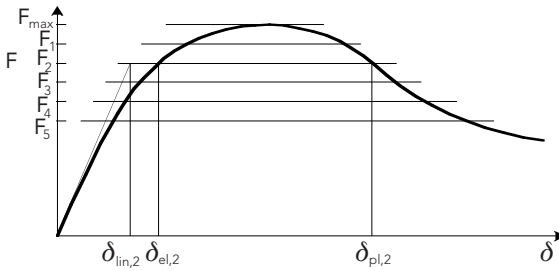


Figure 3.10 : Relation entre la charge F (réaction R) et la flèche δ .

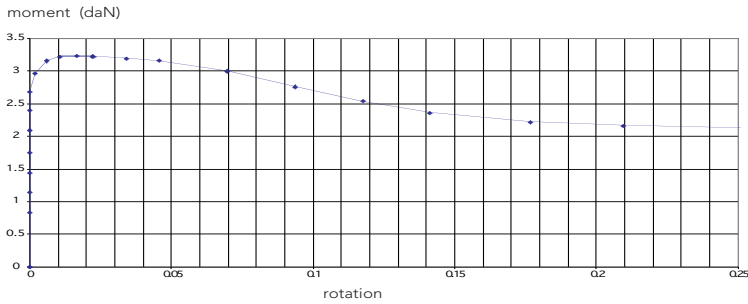


Figure 3.11 : Exemple de relation entre le Moment M et la Rotation θ .

Les valeurs M et R sont liées par la relation $M = R^*L/4$. Pour chaque longueur de maquette on obtient un couple de valeurs, à porter sur le graphique « $M-R$ » (cf. Figure 3.12).

L'enveloppe basse des ces valeurs (cf. paragraphe 3.2.2, Analyse élastique) est présentée sur la Figure 3.12 en pointillés.

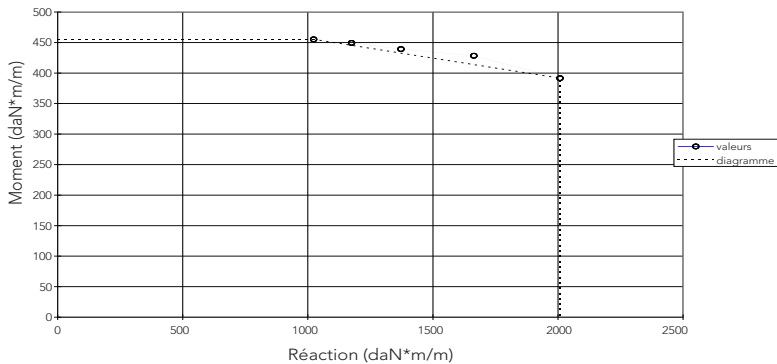


Figure 3.12 : Exemple de relation « Effet combiné Moment – Réaction ».

A chaque point de mesure montré sur la Figure 3.12, correspond une courbe « $M-\theta$ » (cf. Figure 3.11).

Pour une série de maquettes de longueurs différentes, on obtient ainsi un faisceau de courbes, comme montré sur la Figure 3.13.

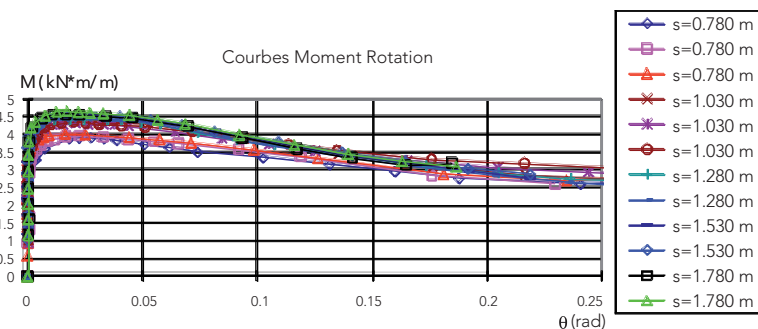
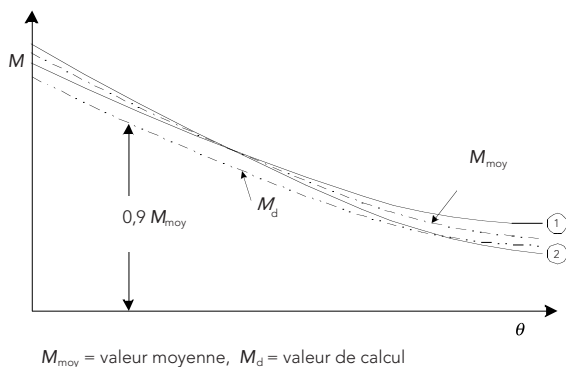


Figure 3.13 : Exemple d'ensemble des courbes « $M-\theta$ » obtenu avec différentes longueurs

Dans le calcul, la relation « Moment – Rotation » est définie en prenant la valeur moyenne obtenue sur toutes les courbes, réduite de 10 %, selon le principe montré sur la Figure 3.14.



M_{moy} = valeur moyenne, M_d = valeur de calcul

M_{moy} = valeur moyenne, M_d = valeur de calcul

Figure 3.14 : Relation de calcul Moment - Rotation « $M_d-\theta$ ».

Suite à la rotation θ sur appui, il y a une redistribution des moments et par conséquent, les formules de la résistance des matériaux classique pour les poutres continues ne sont plus valables.

5. CONCEPTION DE LA SIMPLIFICATION RELATIVE À L'ANALYSE PLASTIQUE DU SYSTÈME

On rappelle que l'analyse plastique rigoureuse doit tenir compte, lors des itérations successives, des variations du rapport M/R et avec lui, des courbes correspondantes $M-\theta$, qui sont fonction du rapport M/R .

Il y a donc lieu de procéder simultanément à des interpolations entre les différentes courbes $M-\theta$ et les différentes valeurs $M-\theta$ sur chaque courbe, ce qui rend le calcul laborieux et fastidieux, nécessitant une procédure informatique complexe.

Pour simplifier le calcul, notre idée est de recourir à la procédure suivante.

5.1 Pas initial

Au lieu de se référer aux courbes distinctes pour chaque longueur de maquette testée, on choisit arbitrairement un couple de valeurs correspondantes θ_p et M_p sur l'enveloppe basse de l'ensemble des courbes obtenues pour toutes les maquettes testées. De point de vue pratique, comme première approche, la valeur θ_p peut être prise entre 0,1 à 0,15 rad.

En phase plastique, on transforme le système en isolant la travée de rive et en supposant que sur l'appui plastifié agit le moment M_p . Cette simplification place, bien entendu, en sécurité.

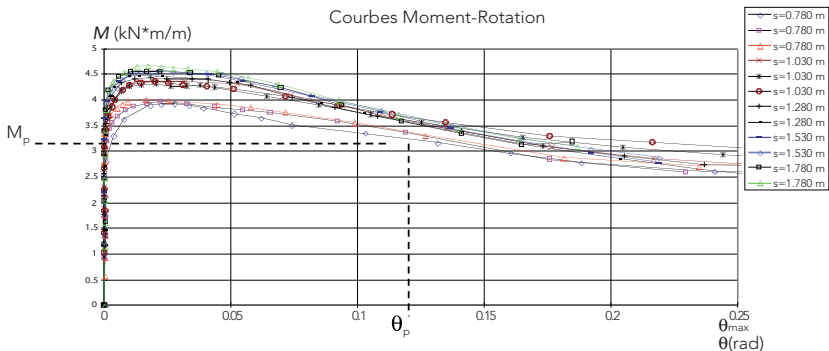


Figure 5.1 : L'ensemble de courbes $M-\theta$ sur appui intermédiaire obtenues avec différentes longueurs d'éprouvettes.

On procède à la réalisation des pas 5.2 et 5.3 ci-après.

8. MÉTHODE D'ANALYSE PLASTIQUE SIMPLIFIÉE

8.1 Principes de la méthode

La procédure de calcul simplifié est illustrée de façon synthétique par l'organigramme suivant :

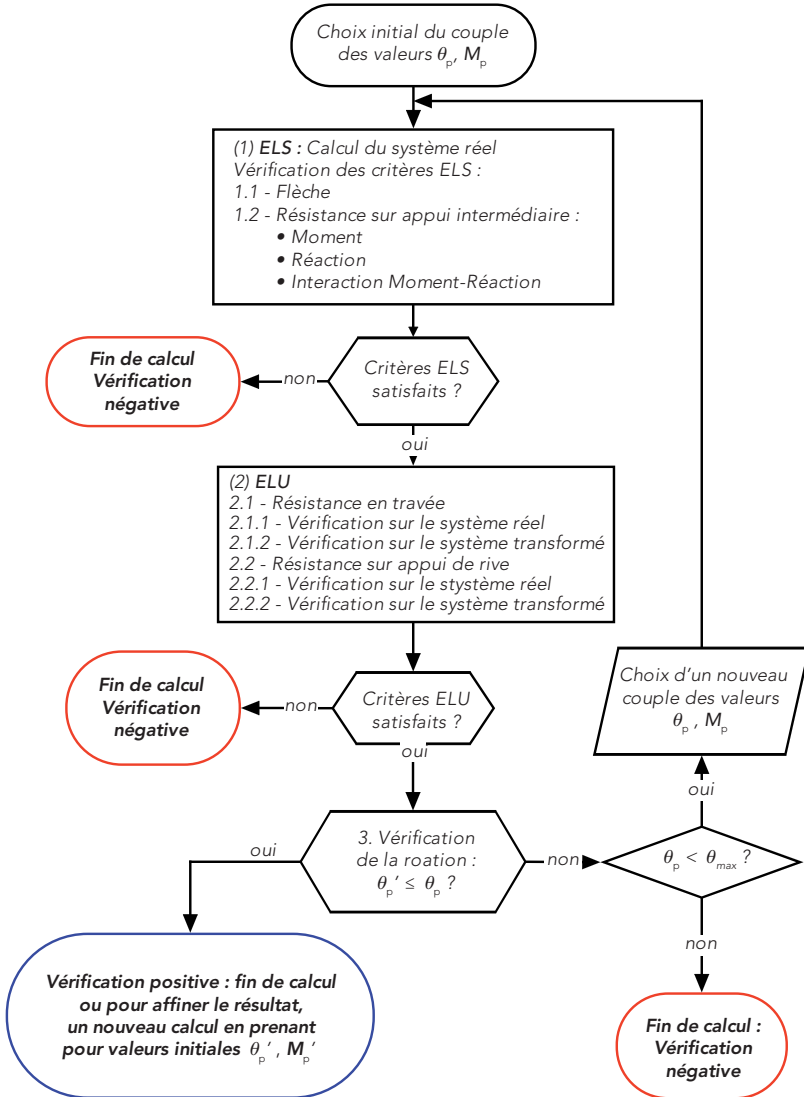


Figure 8.1 : Procédure de calcul simplifiée : logigramme.