

## SSLS135 - Ferrailage d'une cuve carrée selon la méthode de Capra et Maury

---

### Résumé :

Ce test concerne l'étude de la cuve carrée utilisée comme exemple dans le document descriptif de la méthode de Capra et Maury. Le but est de calculer des densités de ferrailage longitudinaux et transversaux pour des éléments Plaque ou Coque.

## 1 Problème de référence

---

### 1.1 Géométrie

On considère une cuve carrée de béton de dimensions  $L \times l \times h = 10\text{ m} \times 10\text{ m} \times 5\text{ m}$  (de feuillet moyen à feuillet moyen) et d'épaisseur  $0.4\text{ m}$ .

### 1.2 Propriétés du matériau

Matériau élastique linéaire isotrope :

Module d'Young:  $E = 3.10^4\text{ MPa}$ ,

Coefficient de Poisson:  $\nu = 0.15$ ,

Masse volumique:  $\mu = 2500\text{ kg/m}^3$ .

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

La densité de raideur de sol appliquée sous la cuve est de  $50\text{ kN/m}^3$ .

L'intégrale de cette densité sur la base de la cuve est donc  $5 \cdot 10^6\text{ kN/m}$ .

Cette quantité est ensuite répartie sur les nœuds de la base.

Le chargement est constitué :

- du poids propre de la cuve
- de la poussée de l'eau de la cuve remplie (poussée constante sur le fond et graduelle sur les bords)
- d'une surcharge répartie sur le contour sur le haut de la cuve ( $20\text{ kN/m}$ )

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul

Les densités des aciers longitudinaux sont calculées selon la méthode de Capra et Maury, pour les directions  $X$  et  $Y$  de chaque élément et selon les 2 faces, I (Inférieure) et S (Supérieure), définies par leur position suivant la normale  $Z$  élémentaire. La densité d'acier transversale est également calculée telle que décrite dans l'article intitulé « Calcul automatique du ferrailage optimal des plaques ou coques en béton armé » par Alain CAPRA et Jean-Francis MAURY.

### 2.2 Résultats de référence

Les différents résultats sont publiés dans l'article de Capra et Maury sous forme de graphiques (pour un quart de modèle seulement) sont :

- la déformée de la cuve,
- les iso-moments  $M_{xx}$  et  $M_{yy}$ ,
- les densités de ferrailage dans les directions  $X$  et  $Y$  en supérieur et en inférieur.

Ci-dessous l'extrait de l'article pour la déformée et les moments  $M_x$ ,  $M_y$ .

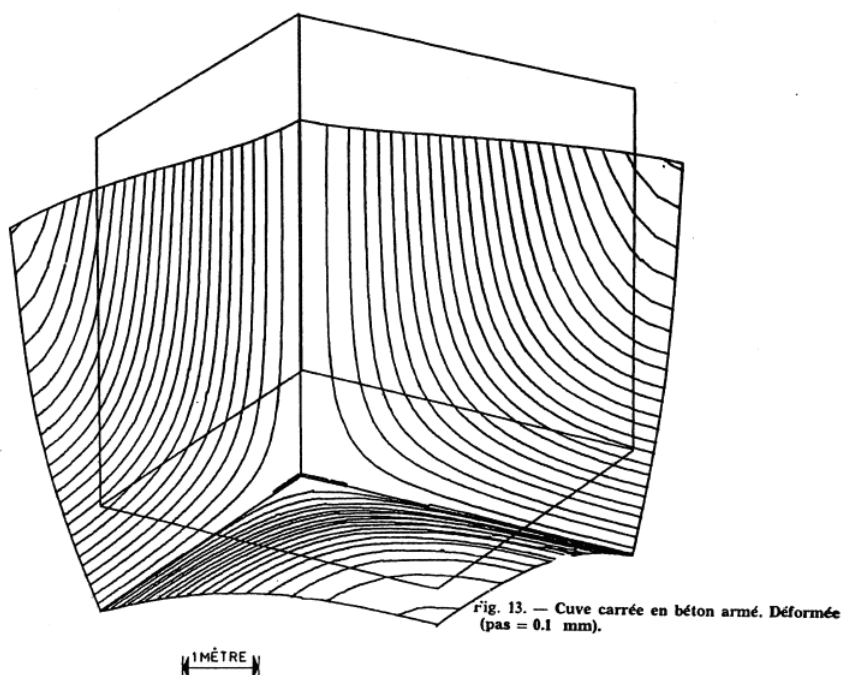


Fig. 14. — Cuve carrée en béton armé. Tracé des iso-moments  $M_{xx}$  (pas :  $10^4$  Nm par mètre).

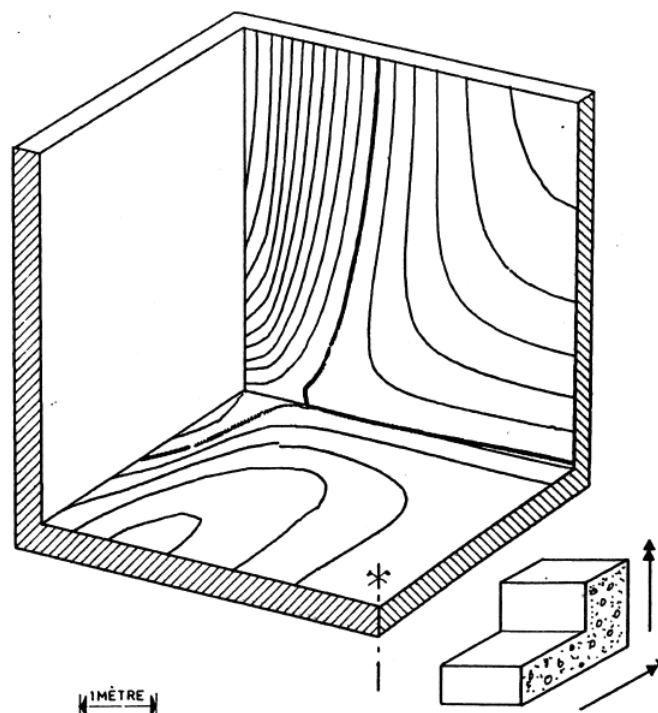
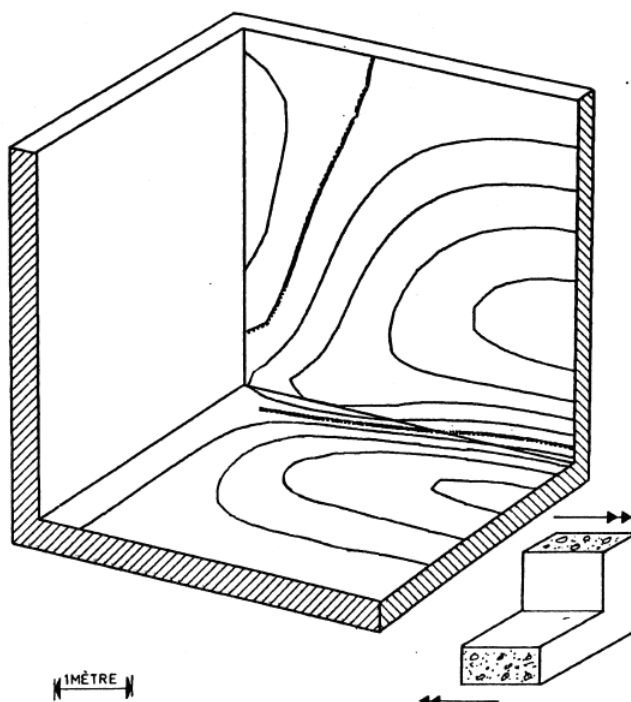


Fig. 15. — Cuve carrée en béton armé. Tracé des iso-moments  $M_{yy}$  (pas :  $10^4$  Nm par mètre).



Ci-dessous l'extrait de l'article pour les densités de ferrailage. Pour une meilleure lisibilité, des couleurs ont été associées aux différentes valeurs de densité de ferrailage.

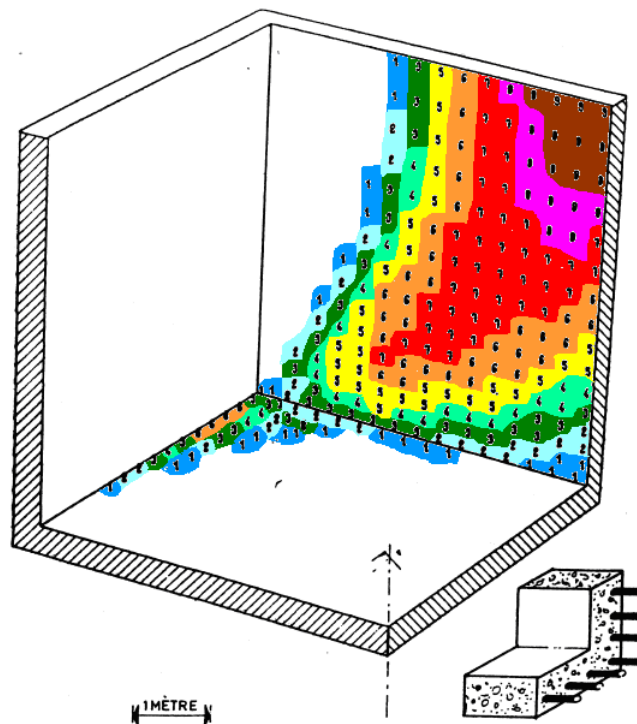


Fig. 16. — Cuve carrée en béton armé. Carte de ferrailage des aciers X extérieurs (en  $\text{cm}^2$  par mètre).

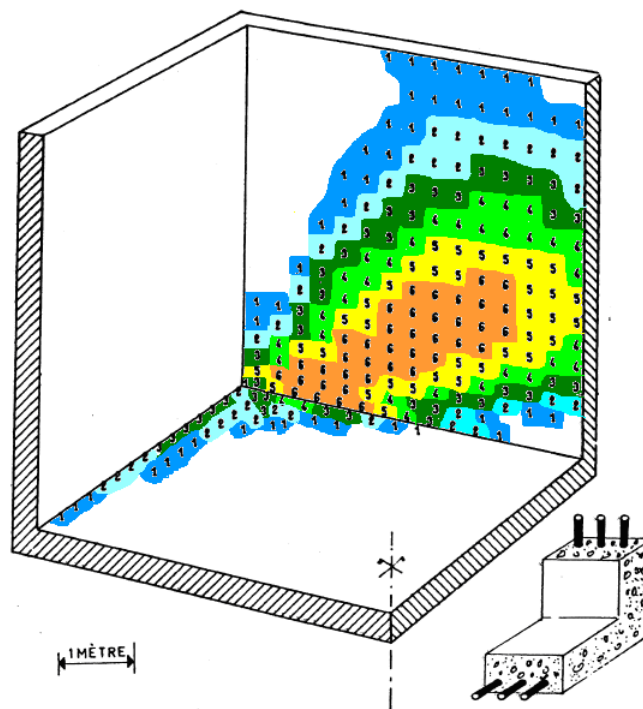


Fig. 17. — Cuve carrée en béton armé. Carte de ferrailage des aciers Y extérieurs (en  $\text{cm}^2$  par mètre).

Fig. 18. — Cuve carrée en béton armé. Carte de ferrailage des aciers X intérieurs (en cm<sup>2</sup> par mètre).

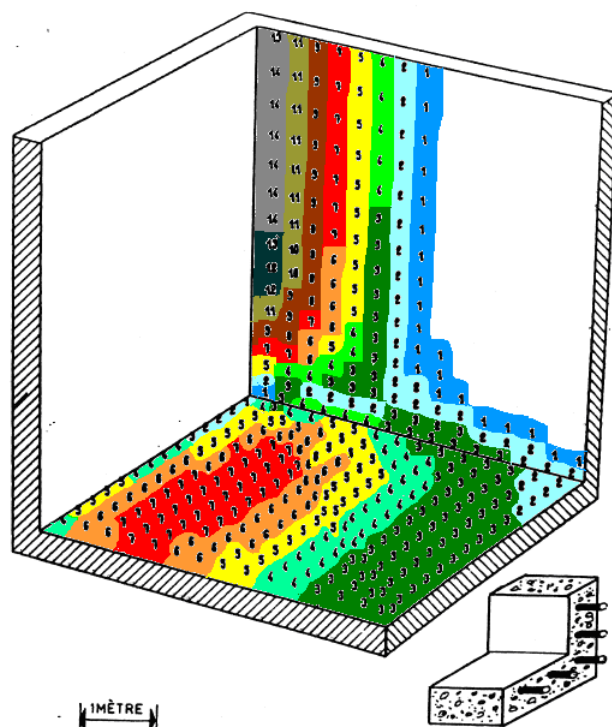
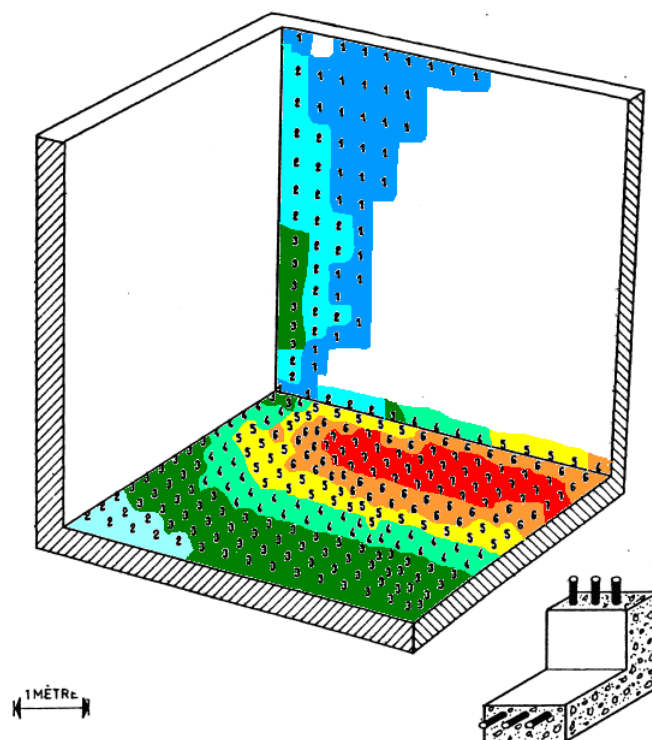


Fig. 19. — Cuve carrée en béton armé. Carte de ferrailage des aciers Y intérieurs (en cm<sup>2</sup> par mètre).



## 2.3 Références bibliographiques

[1] Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics N° 367 Décembre 1978 – Série : INFORMATIQUE APPLIQUEE – Article intitulé « Calcul automatique du ferrailage optimal des plaques ou coques en béton armé » par Alain CAPRA et Jean-Francis MAURY.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation DKT.

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Les éléments sont des quadrangles. La longueur d'arête maximale est de 0.5. Les éléments DKT sont orientés vers  $X$  positif, respectivement vers  $Y$  positif, respectivement vers  $Z$  positif pour les éléments perpendiculaires à  $X$ , respectivement à  $Y$  et respectivement à  $Z$ . De plus, pour les éléments de la base, horizontaux, l'axe élémentaire  $X$  est identique à l'axe global  $X$ . Pour les autres éléments, verticaux, l'axe élémentaire  $Y$  est identique à l'axe global  $Z$ .

### 3.3 Autres paramètres du calcul

L'accélération de la pesanteur est de  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

La distance entre l'axe des aciers et la surface d'un élément (enrobage) est de  $0.04 \text{ m}$ .

Le coefficient d'équivalence est de 15.0.

La contrainte maximale admissible de l'acier est de  $2.3 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ .

La contrainte maximale admissible du béton est de  $3.5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ .

Le calcul est réalisé à l'État Limite de Service (ELS).

Les pivots valent respectivement  $PIVA=1.0 \cdot 10^3$  et  $PIVB=3.5 \cdot 10^{-3}$ .

### 3.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs testées correspondent à un certain nombre d'éléments « caractéristiques » du modèle. Pour faciliter la lecture, les résultats ont été convertis en  $\text{cm}^2/\text{m}$  et les valeurs figurants dans la publication de référence ont été recalées sur le système de coordonnées utilisé dans le modèle Aster.

L'analyse est conduite sur le quart de la cuve présentée dans la publication (quart du modèle). 10 points ont été traités :

Base de cuve

- $BC$  : centre
- $BSO$  : sud-ouest
- $BSE$  : sud-est
- $BNO$  : nord-ouest
- $BNE$  : nord-est

Voile « est » de cuve

- $VC$  : centre
- $VBN$  : bas nord
- $VBS$  : bas-sud
- $VHN$  : haut-nord
- $VHS$  : haut-sud

Point	densité	Type de référence	Valeur de référence (en $\text{cm}^2/\text{m}$ )
BC	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	0
BC	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	6
BC	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	0
BC	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	5
BSO	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	0
BSO	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	3
BSO	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	0
BSO	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	3
BSE	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	0
BSE	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	6
BSE	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	1
BSE	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	2
BNO	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	1
BNO	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	2
BNO	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	0
BNO	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	4
BNE	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	3
BNE	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	1
BNE	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	2
BNE	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	2
VC	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	1
VC	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	6
VC	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	0
VC	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	4
VBN	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	2
VBN	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	1
VBN	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	2
VBN	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	3
VBS	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	1
VBS	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	1
VBS	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	0
VBS	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	0
VHN	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	15
VHN	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	0
VHN	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	1
VHN	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	0
VHS	DNSXI	'SOURCE_EXTERNE'	0
VHS	DNSXS	'SOURCE_EXTERNE'	9
VHS	DNSYI	'SOURCE_EXTERNE'	0
VHS	DNSYS	'SOURCE_EXTERNE'	0



Identification	Composante	Type de Référence	Référence	% tolérance
UT01_ELEM - Maximum	X 1	'NON_REGRESSION'	-	-
UT01_ELEM - Minimum	X 1	'NON_REGRESSION'	-	-
<i>ferMax</i> - Maximum	X 1	'AUTRE_ASTER'	0.000515023673871	0,10
<i>ferMax</i> - Minimum	X 1	'AUTRE_ASTER'	5.67845794742E-05	0,10

---

## 4 Synthèse des résultats

---

Ce test permet de mettre en évidence la validité des calculs de densité de ferraillage. Les résultats obtenus sont en effet très proches de ceux figurant dans le document de référence des auteurs de la méthode. La validation est cependant limitée par l'absence de données précises de certains paramètres utilisés (valeur de l'enrobage par exemple) et la faible quantité de résultats exploitables fournie par la publication d'origine.