

Réf MECATER: MC-22-128-PRNC-04-R301			Réf PRNC : EXT-140-8315-RP-0020	
Date	Rev	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
28/10/2022	O1			

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'étude Fel 3 de la verse Lucy, il a été envisagé d'étendre le réseau de sous drainage existant (Pump pit) et les drains de pied KO2 vers la zone aval par le prolongement des conduites existantes des drains en question et la protection de ces conduites par enrobage en béton de 1 m d'épaisseur. cette protection en béton sera coulée sur place.

Dans le cadre de l'étude d'exécution Fel 4 des travaux préparatoires de de la zone aval relatifs au projet Lucy, la société PRNC a mandaté MECATER Ingénierie pour optimiser le volume du béton pour la protection des conduites du Pump-pit avec l'utilisation des élément préfabriqués au lieu d'un coulage en place.

Le présent document comporte les justifications génie civil des dalots préfabriqués d'extension du réseau de sous drainage existant (Pump pit) et des drains de pied KO2.

2 DOCUMENTS ET DONNEES DE BASE DU PROJET

Les documents consultés pour établir la présente note de calcul sont :

- [1]. *Les données géotechniques ;*
- [2]. *Vue en plan de l'extension du réseau de sous drainage existant (Pump pit) et des drains de pied KO2 (Réf : MC-21-301-PRNC-01-P041 / EXT-140-8315-01-0168) ;*
- [3]. *Plan de détail du puisard Pump pit (Réf : MC-21-301-PRNC-01-P045 / EXT-140-8315-01-0172).*

3 REGLEMENTS ET NORMES DE CALCUL

Les calculs de justification et de vérification sont menés, conformément aux prescriptions des documents suivants :

- [4]. *Norme NF EN 1990 Eurocode 0 : Bases de calcul des structures*
- [5]. *Norme NF EN 1991 Eurocode 1 : Actions sur les structures*
- [6]. *Norme NF EN 1992 Eurocode 2 - Calcul des structures en béton*
- [7]. *Norme NF EN 1993 Eurocode 3 - Calcul des structures en acier*
- [8]. *Norme NF EN 1997 Eurocode 7 - Calcul géotechnique*



[9]. Norme NF EN 206-1

[10]. Norme NF P 94-261 Justification des ouvrages géotechniques – Normes d’application nationale de l’Eurocode 7– Fondations superficielles

[11]. Norme NF P 94-281 Justification des ouvrages géotechniques – Normes d’application nationale de l’Eurocode 7– Ouvrages de soutènement - Murs

[12]. Norme NF EN 1998 Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes

Pour les aspects qui ne seraient pas couverts par les normes citées ci-dessus, on pourra se référer aux textes suivants :

[13]. DTU 13.3 Dallages - conception, calcul et exécution

[14]. Fascicule 62 - Titre V Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil

4 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

4.1 Caractéristiques des bétons

Les caractéristiques des bétons en fonction de leur classe d’exposition sont données dans le tableau ci-dessous issu de la norme NF EN 1992-1-1 de l’Eurocode 2.

Tableau 1 : Caractéristiques de béton du Dalot

	Classes de résistance du béton													Expression analytique Commentaires	
f_{cm} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,28j}$ (MPa)	16	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	80	90	105	
f_{td} (MPa)	20	24	28	33	39	43	46	53	58	63	68	78	88	99	$f_{td} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{cm,28j}$ (MPa)	1,8	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,4	4,6	4,9	5,0	$f_{cm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{1,071} + 0,060 \cdot f_{ck} - 2,12 \cdot \ln(1 + f_{cm}/100) + 0,050 \cdot f_{ck}$
$f_{ct,28j}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,3	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ct,28j} = 0,7 \cdot f_{cm}$ taux de 5 %
$f_{ct,sp}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,8	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ct,sp} = 1,2 \cdot f_{cm}$ taux de 50 %
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22(f_{cm}/10)^{0,8}$ (f_{cm} en MPa)
α_{ct} (%)	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	Voir Figure 3.2 $\alpha_{ct} = 0,7 \cdot f_{cm}^{0,2} < 2,8$
ϵ_{ct} (‰)					3,5					3,2	3,0	2,8	2,6	2,6	Voir Figure 3.2 pour $f_{ck} < 50$ MPa $\epsilon_{ct}(‰) = 2,8 + 27[(f_{cm} - f_{cm,28j})/100]^2$
ϵ_{sp} (‰)					5,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	Voir Figure 3.3 pour $f_{ck} < 50$ MPa $\epsilon_{sp}(‰) = 2,0 + 0,083(f_{cm} - 50)^{1,25}$
ϵ_{sp} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	Voir Figure 3.3 pour $f_{ck} < 50$ MPa $\epsilon_{sp}(‰) = 2,8 + 32[(f_{cm} - f_{cm,28j})/100]^2$
μ					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	pour $f_{ck} < 50$ MPa $\mu = 1,4 + 25 \cdot [(f_{cm} - f_{cm,28j})/100]^2$
ϵ_{sp} (‰)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	Voir Figure 3.4 pour $f_{ck} < 50$ MPa $\epsilon_{sp}(‰) = 1,75 + 0,55[(f_{cm} - 50)/40]$
ϵ_{sp} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	Voir Figure 3.4 pour $f_{ck} < 50$ MPa $\epsilon_{sp}(‰) = 2,8 + 32[(f_{cm} - f_{cm,28j})/100]^2$

4.2 Durée d'utilisation du projet :

La durée de d'utilisation du projet selon Eurocode 0 est de 100 ans.

4.3 Classe d'exposition de l'ouvrage :

Les classes d'exposition des bétons sont celles définies à partir du Tableau 2 de la norme NF EN 206-1 (réf. [9]) en fonction des conditions d'environnement de chaque élément de structure.

Les classes du béton sont attribuées à chaque structure ou partie de structure en fonction des conditions d'environnement conformément à l'article 4.2 de la norme NF EN 1992-1-1 de l'Eurocode 2 (réf. [6]).

La classe d'exposition à retenir sera la plus contraignante vis-à-vis de l'effet recherché

Tableau 2 : Classes d'exposition des bétons par élément de structure

Élément de structure	Classe d'exposition	
	Parement externe (côté terre)	Parement interne (côté intérieur)
Dalot	XS1	XS1

4.4 Armatures

La masse volumique de l'acier est égale à 7850 kg/m³

Les aciers qui peuvent être utilisés sont :

- Acier Haute Adhérence : $f_e=500$ MPa
- Acier Doux : $f_e=235$ MPa

Les aciers doux ne seront utilisés que pour les aciers de montage ou qui peuvent subir un dépliage suivi d'un pliage sur chantier.

4.5 Enrobage :

Le calcul de l'enrobage est réalisé suivant l'article 4.4 de l'EN 1992-1-1 (réf. [6]).

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max (C_{min,b} ; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add} ; 10 \text{ mm})$$

Avec :

- La valeur de $C_{min,b}$ est déterminée par la note (3) de l'article 4.4.1.2 de l'EN 1992-1-1.
- $\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$ mm (clauses 4.4.1.2 (7) et (8) de l'annexe nationale à l'EN 1991-1-1).

- $\Delta c_{dev} = 10$ mm pour les parois moulées et les revêtements en souterrain coulés en place
- $\Delta c_{dev} = 5$ mm au minimum pour les autres éléments dont les éléments préfabriqués (sous réserve d'un système de contrôle en conformité avec le §4.4.1.3 de l'EN 1992-1-1)

Les enrobages sont calculés pour une durée d'utilisation du projet de 100 ans (tableau 4.3NF de l'annexe nationale à l'EN 1992-1-1).

L'enrobage des armatures est fixé à **50 mm**.

4.6 Remblai et sol d'assise

- L'angle de frottement interne du remblai $\varphi_R=35^\circ$
- Coefficient de poussée du remblai : $K_a \max=0,5$
- Le module de réaction verticale du sol : $K_{sol} = 500$ t/m³.

5 ACTIONS PERMANENTES (G)

- Éléments en béton armé : $\gamma=2,5$ t/m³
- Remblai : $\gamma_R=2,0$ t/m³
- Verse : $\gamma_h=1,5^1$ t/m³

6 OUVRAGE D'EXTENSION DU RESEAU DE SOUS DRAINAGE EXISTANT (PUMP PIT) ET DES DRAINS DE PIED KO2

6.1 Présentation de l'ouvrage

Il s'agit d'un Dalot en béton armé de 0.80 m de hauteur intérieure et de largeur intérieure à la base de 2.00 m sur une longueur de 420 m.

¹ $\gamma_h=1,37$ majoré de 10%



Figure 1 : Vue en Plan de l'ouvrage de l'extension du réseau de sous drainage KO2

6.2 Composants de l'ouvrage

L'ouvrage est divisé en trois zones selon la variation de la hauteur du remblai au-dessus (hauteur variable de 102 m à 22 m)

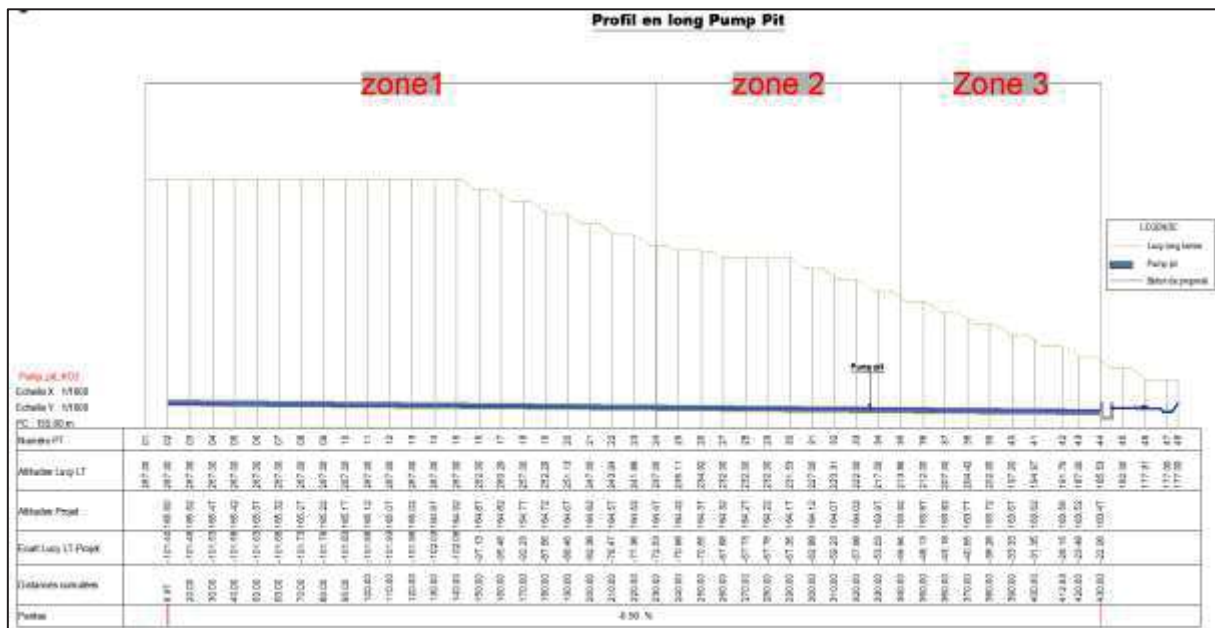


Figure 2 : Profil en long Pump Pit

La répartition des zones est comme suit :

- Zone 1 (Dalot type 1) : Du PT 2 → PT 24, 110 éléments avec une hauteur de calcul moyenne de remblai de 102 m.

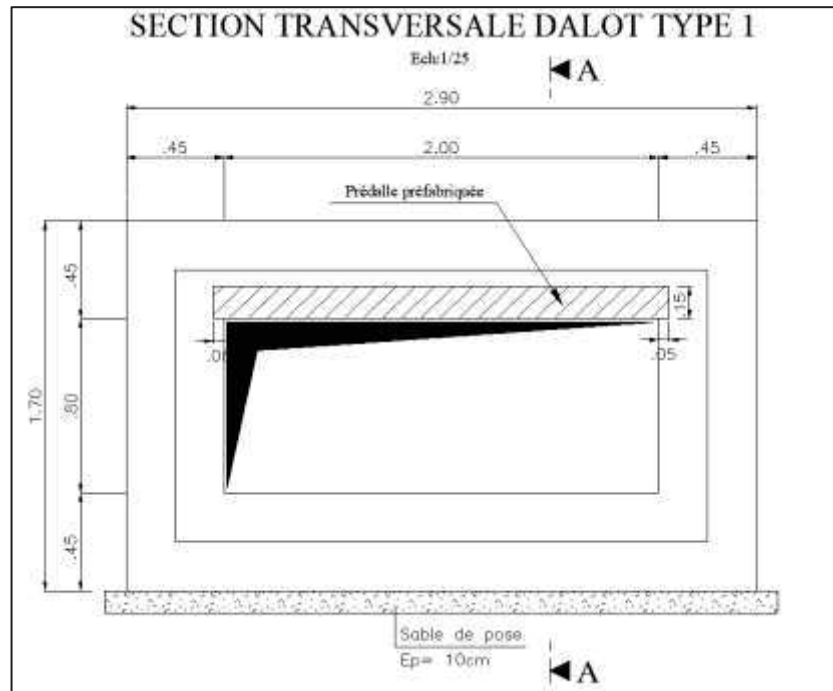


Figure 3 : Section transversale du dalot type 1

- Zone 2 (Dalot type 2) : Du PT 24 → PT 35, 55 éléments avec une hauteur de calcul moyenne de remblai de 75 m.

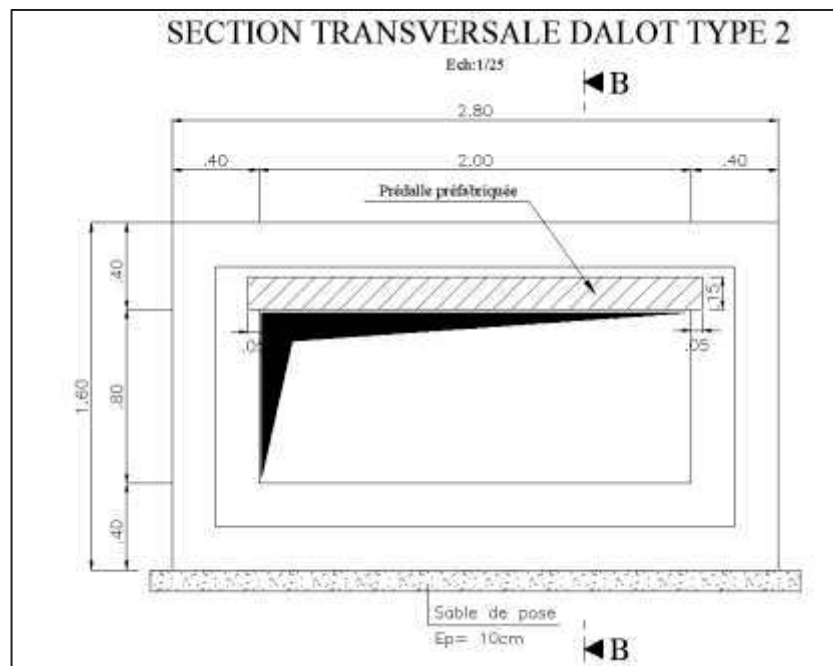


Figure 4 : Section transversale du dalot type 2

- Zone 3 (Dalot type 3) : Du PT 35 → PT 44, 45 éléments avec une hauteur de calcul moyenne de remblai de 50 m.

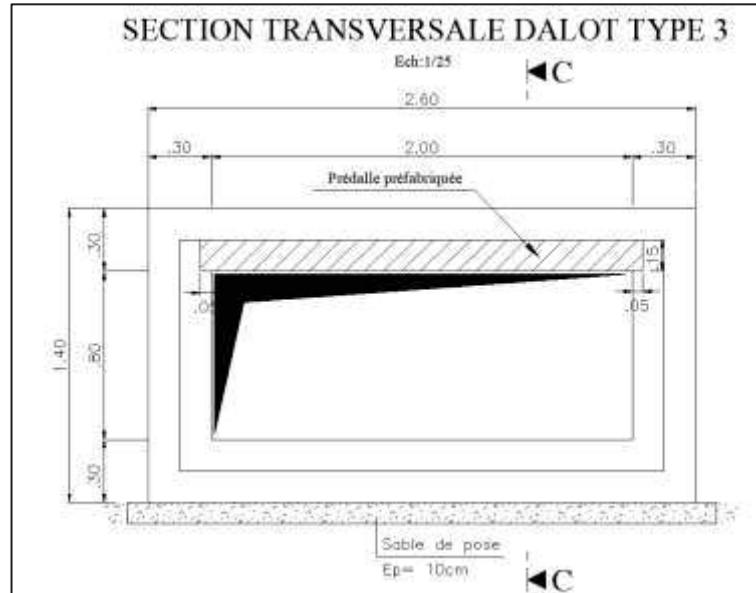


Figure 5 : Section transversale du dalot type 3

6.3 Phasage d'exécution

Les dalots sont des éléments préfabriqués mis en place en trois phases pour faciliter la mise en place des conduites de drainage, leur méthode d'exécution est :

- Etape 1 : Mise en place du radier et des piédroits.
- Etape 2 : Mise en place des prédalles préfabriquées (coffrage pour le coulage de la traverse).
- Etape 3 : Coulage de la traverse.

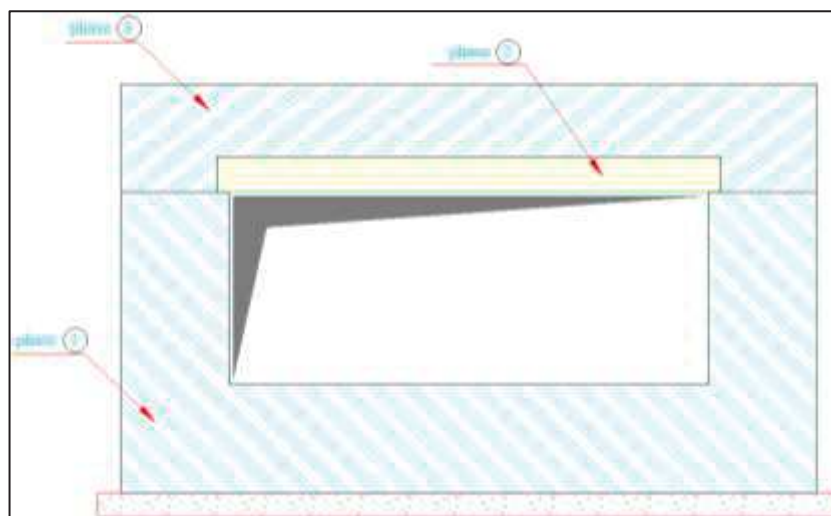


Figure 6 : Phases de mise en place des dalots

7 MODELESATION ET RESULTATS DES CALCULS

7.1 Modélisation

Le calcul a été fait à l'aide du logiciel « *Effel Structure* ». Le programme d'éléments finis permet la saisie tridimensionnelle de la structure avec l'association d'éléments de barres, plaques et appuis de différents types. Toutes les charges sont introduites au niveau de la saisie et une fois la structure maillée, nous définissons les différentes combinaisons de cas de charges pour lesquelles nous voudrions obtenir les efforts intérieurs.

Grâce au module Béton Armé, ce logiciel permet également de calculer le ferrailage des différents éléments constituant la structure et de fournir l'enveloppe des aciers pour les combinaisons sélectionnées.

La désignation de l'élément étudié figure dans la cellule du coté haut droit de la cartouche, les valeurs des aciers figurant au centre de chaque plaque correspondent au type inscrit dans la cartouche de la feuille (Axsup., Axinf, Aysup. et Ayinf.). Ces directions sont données dans le repère local, la direction x du repère local correspond à la ligne au trait long et fort, la direction y perpendiculaire à la direction des x est désignée au trait court fin, enfin la direction z est obtenue en appliquant le principe du trièdre (rotation de x vers y pour obtenir le z sortant).

7.2 Sollicitations de calcul

Les cas de charge sont :

- **Cas N°1** : Poids propre de l'ouvrage
- **Cas N°2** : Charge maximale de la verse au-dessus de l'ouvrage déterminée par la formule suivante : $\sigma_v = \gamma_h \cdot xh$
- **Cas N°3** : Poussée maximale des terres donnée par la formule suivante $\sigma_H = K_0 \cdot \gamma_h \cdot xh$

7.2.1 Combinaisons des charges

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3: Cas de charges

N° du cas de charges	Définition
1	Poids propre
2	Charge maximale de la verse au-dessus de l'ouvrage
3	Poussée maximale des terres

Les combinaisons de calcul à étudier avec les coefficients de pondération sont les suivantes :

Tableau 4: Combinaisons des charges

N° du cas de charges	Définition
101	1.00 x (1) + 1.00 x (2) + 1.00 x (3)

7.2.2 Calcul des charges :

- Calcul des charges Dalot Type 1 :

Tableau 5: Calcul des charges Dalot type 1

Type de dalot	Cas de charge	Valeur
1	Charge maximale de la verse au-dessus de l'ouvrage	$\sigma_v = \gamma_h x h = 1.50 \times 102 = 153 \text{ t/m}^2$
	Poussée maximale des terres	$\sigma_H = K_0 x \gamma R x h = 0.5 \times 1.50 \times 102 = 77 \text{ t/m}^2$

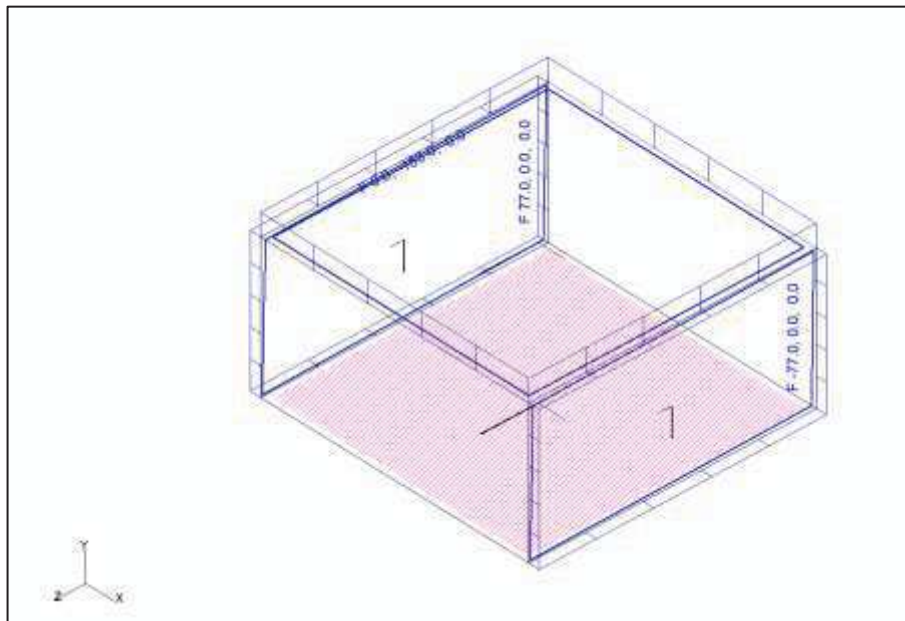


Figure 7: Sollicitations : Poids propre + charge de la verse + poussée des terres dalot type 1

- Calcul des charges Dalot Type 2 :

Tableau 6: Calcul des charges D2

Type de dalot	Cas de charge	Valeur
	Charge maximale de la verse au-dessus de l'ouvrage	$\sigma_v = \gamma_h x h = 1.50 \times 75 = 112 \text{ t/m}^2$

2	Poussée maximale des terres	$\sigma_H = K_0 \gamma_R x h = 0.5 \times 1.50 \times 75 = 56 \text{ t/m}^2$
---	-----------------------------	--

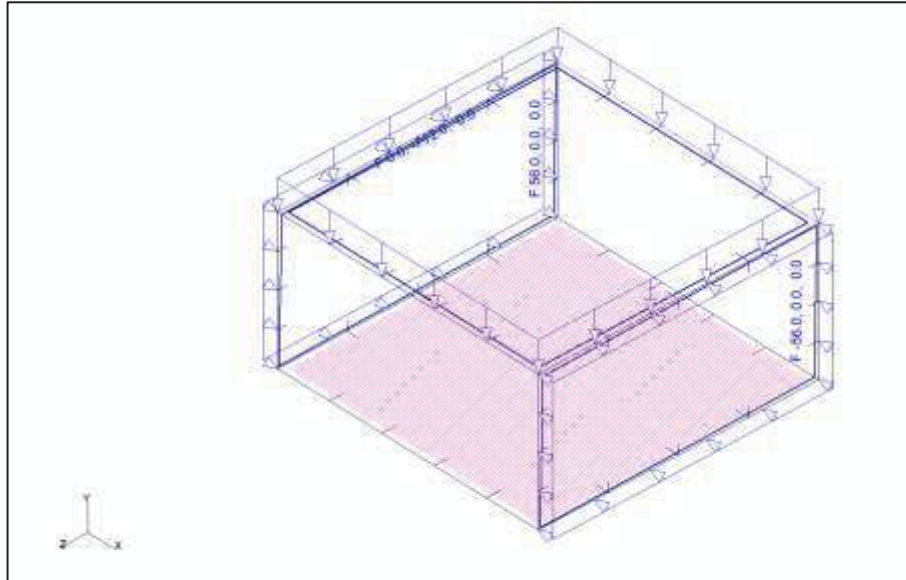


Figure 8: Sollicitations : Poids propre + charge de la verse + poussée des terres dalot type 2

- Calcul des charges Dalot Type 3 :

Tableau 7: Calcul des charges D3

Type de dalot	Cas de charge	Valeur
3	Charge maximale de la verse au-dessus de l'ouvrage	$\sigma_v = \gamma_h x h = 1.50 \times 50 = 75 \text{ t/m}^2$
	Poussée maximale des terres	$\sigma_H = K_0 \gamma_R x h = 0.5 \times 1.5 \times 50 = 38 \text{ t/m}^2$

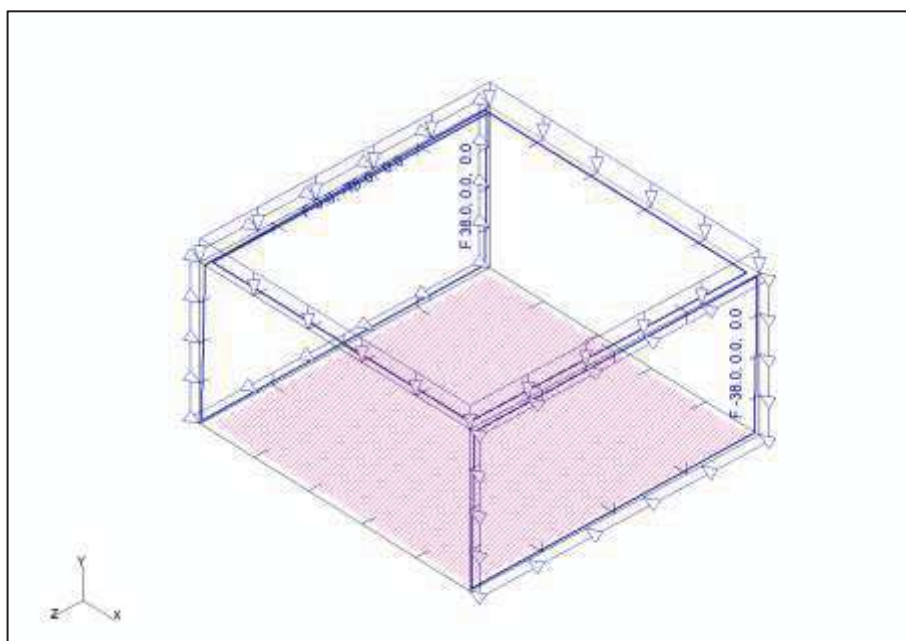


Figure 9: Sollicitations : Poids propre + charge de la verse + poussée des terres dalot type 3

7.3 Résultats du calcul

Nous retiendrons la section minimale d'armatures conformément au § 9.2.1.1 de la NF EN 1992-1-1 (réf. [6]):

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d$$

7.3.1 Section minimale d'armatures Dalot type 1

Pour le ***dalot type 1***:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \times 2,9 / 500 \times 100 \times 37 = 5,58 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Les détails des résultats de calcul de ferrailage du dalot de type 1 sont présentés dans l'ANNEXE A.

Le ferrailage retenu pour le dalot de type 1 est donnée par la Figure 10 ci-dessous :

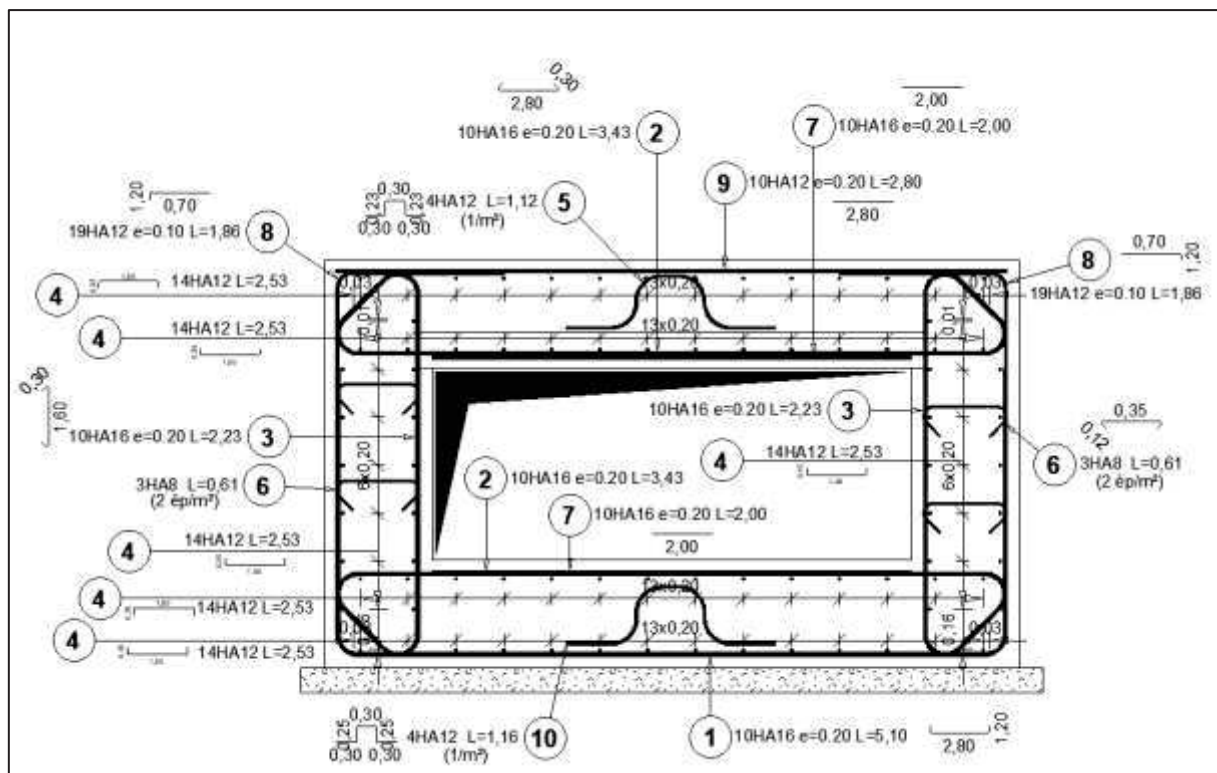


Figure 10: Ferrailage Mis en place du dalot type 1

7.3.2 Section minimale d'armatures Dalot type 2

Pour le **dalot type 2**:

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d = 0.26 \times 2.9 / 500 \times 100 \times 33 = 4.97 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Les détails des résultats de calcul de ferrailage du dalot de type 2 sont présentés dans l'ANNEXE B.

Le ferrailage retenu pour le dalot de type 2 est donnée par la Figure 11 ci-dessous :

Dalot type 3: $A_{s,min} = 0.26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d = 0.26 \times 2.9 / 500 \times 100 \times 23 = 3.46 \text{ cm}^2/\text{ml}$

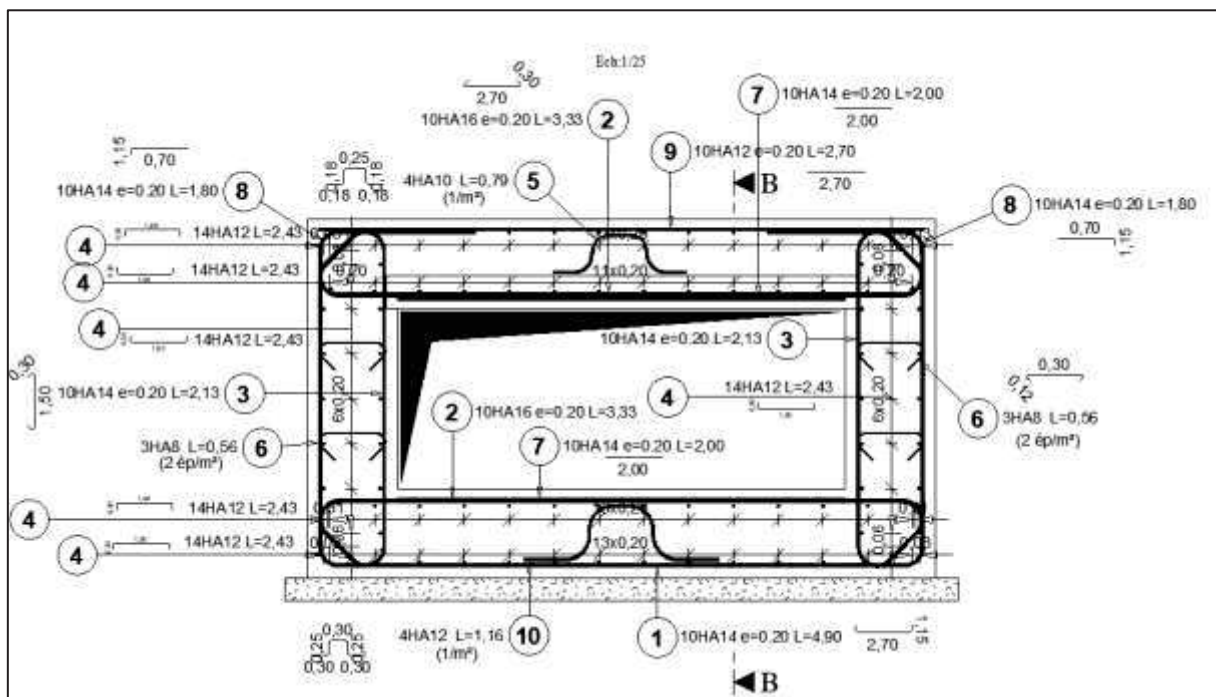


Figure 11 : Ferrailage Mis en place du dalot type 2

7.3.3 Section minimale d'armatures Dalot type 3

Pour le **dalot type 3**:

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d = 0.26 \times 2.9 / 500 \times 100 \times 23 = 3.46 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Les détails des résultats de calcul de ferrailage du dalot de type 3 sont présentés dans l'ANNEXE C.

Le ferrailage retenu pour le dalot de type 3 est donnée par la Figure 12 ci-dessous :

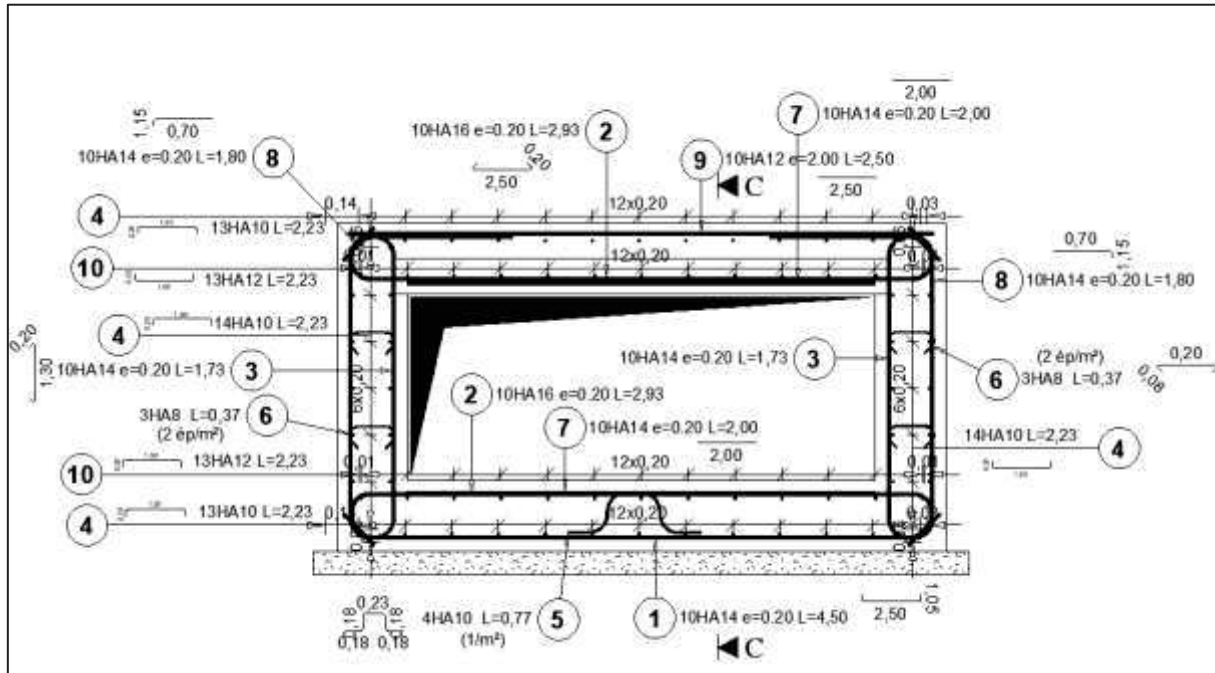


Figure 12: Ferrailage Mis en place du dalot type 3

7.3.4 mètres

les mètres du béton et de l'aciers pour chaque type de dalots est données par le Tableau 8

Tableau 8 : mètres pour chaque type de dalots

	Nb Elements (2 m)	Beton d'un element (m 3)	Acier (kg)	Ratio (Kg / m 3)
Dalot Type 1	110	6.62	608.5	91.9
Dalot Type 2	55	5.74	520.7	90.7
Dalot Type 3	45	4.06	431.6	106.3
Total	210	1226.6	11499.5	93.8



ETUDE DE DESIGN DE LA VERSE LUCY -FEL 4

Note génie civil des dalots du Pump-Pit



ANNEXE A : Résultats des calculs_ Dalot type 1

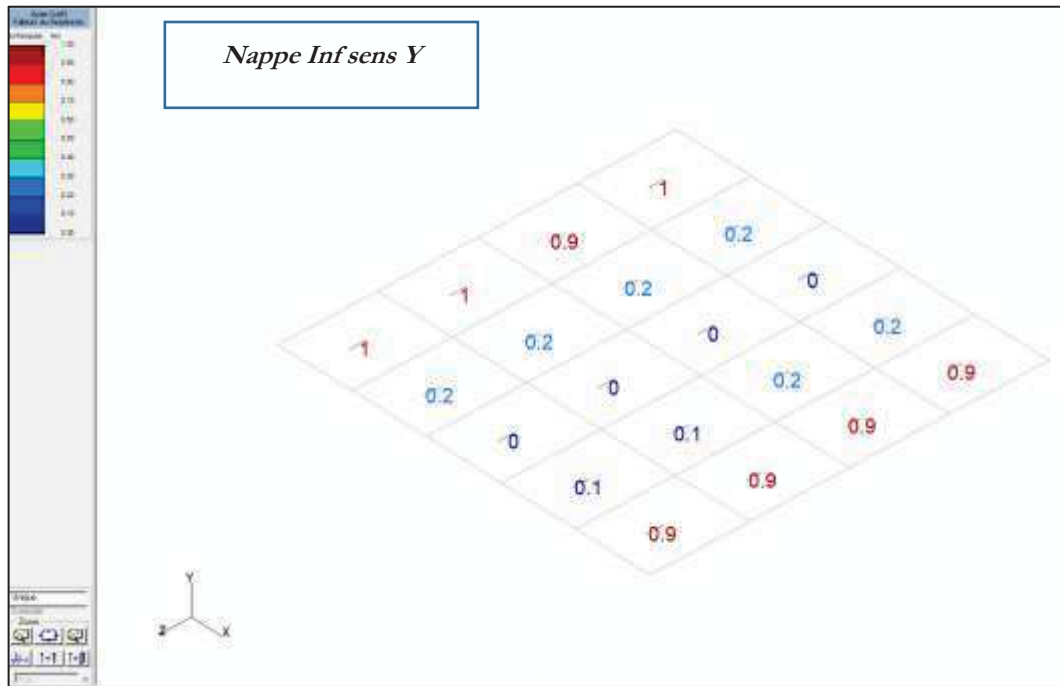


Figure. A-1 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens Y -Radie-D1

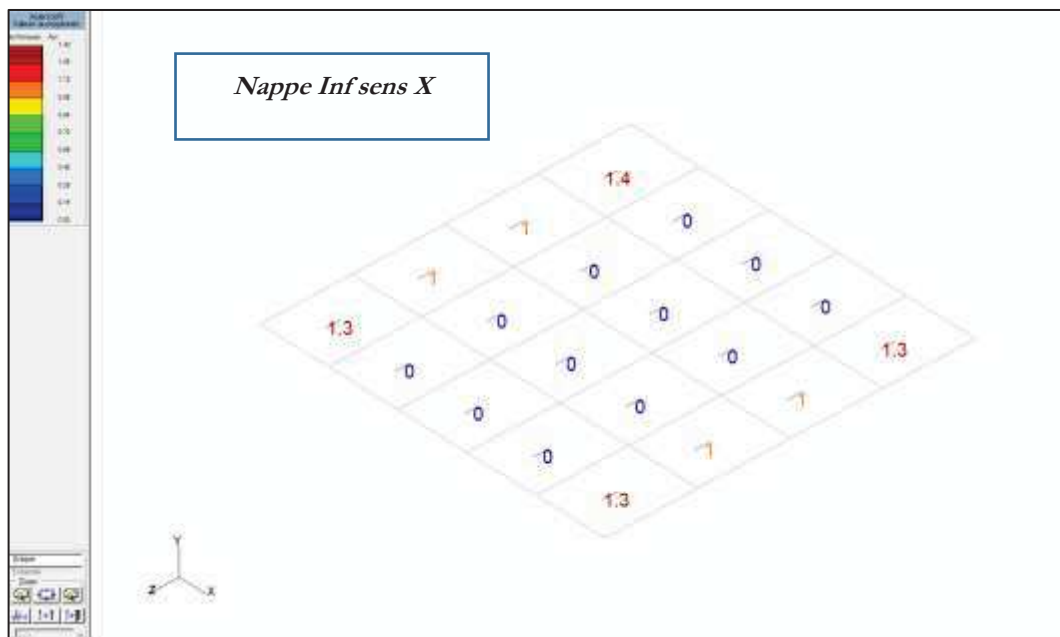


Figure. A-2 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens X -Radier-D1

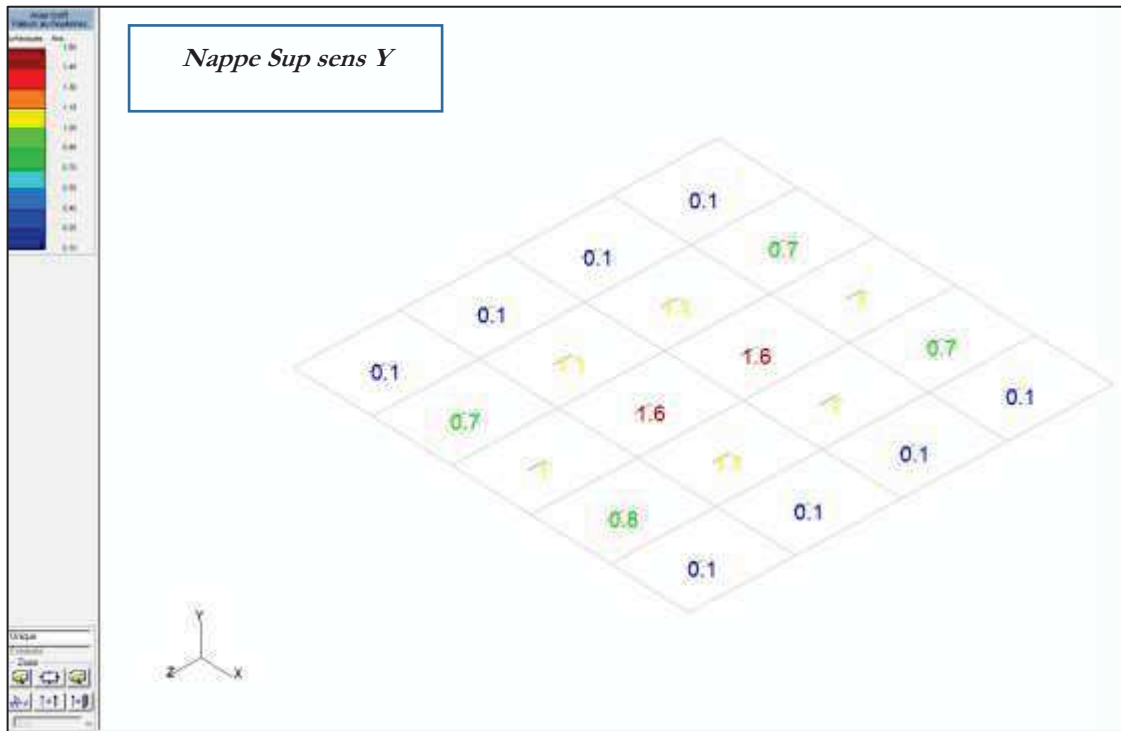


Figure. A-3 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens Y -Radier-D1

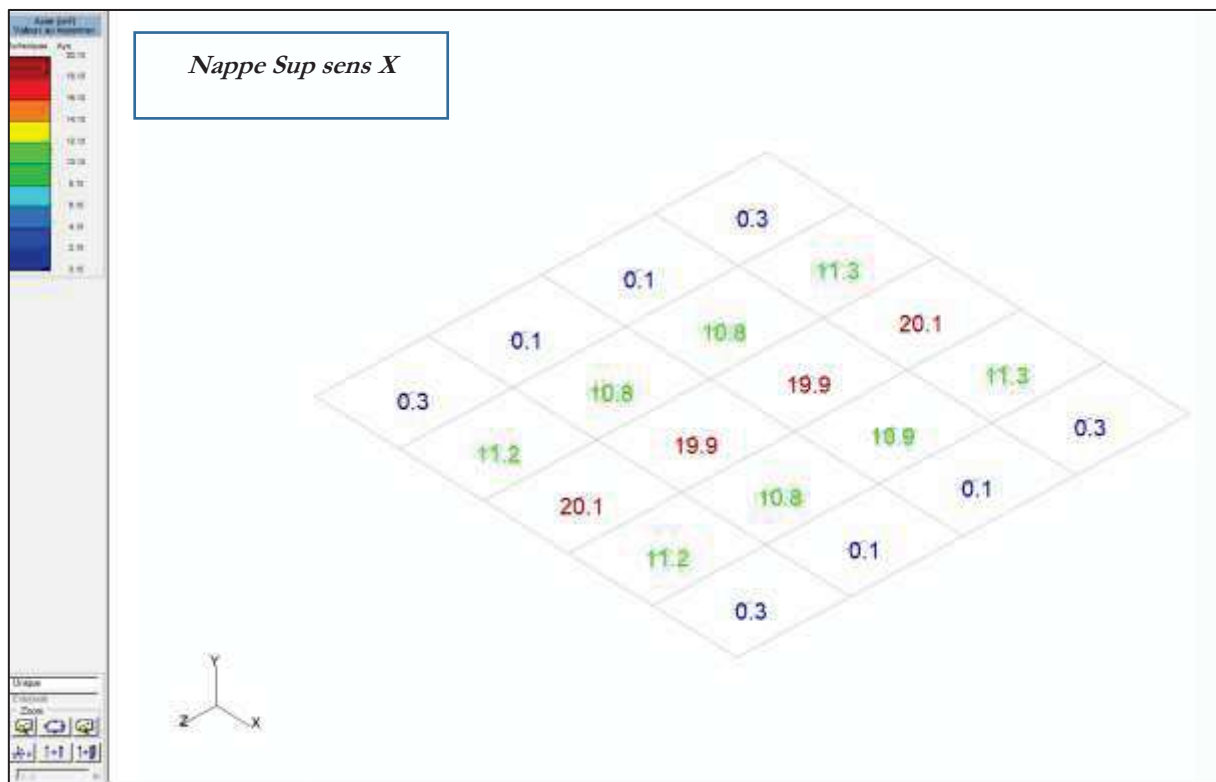


Figure. A-4 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens X -Radier-D1

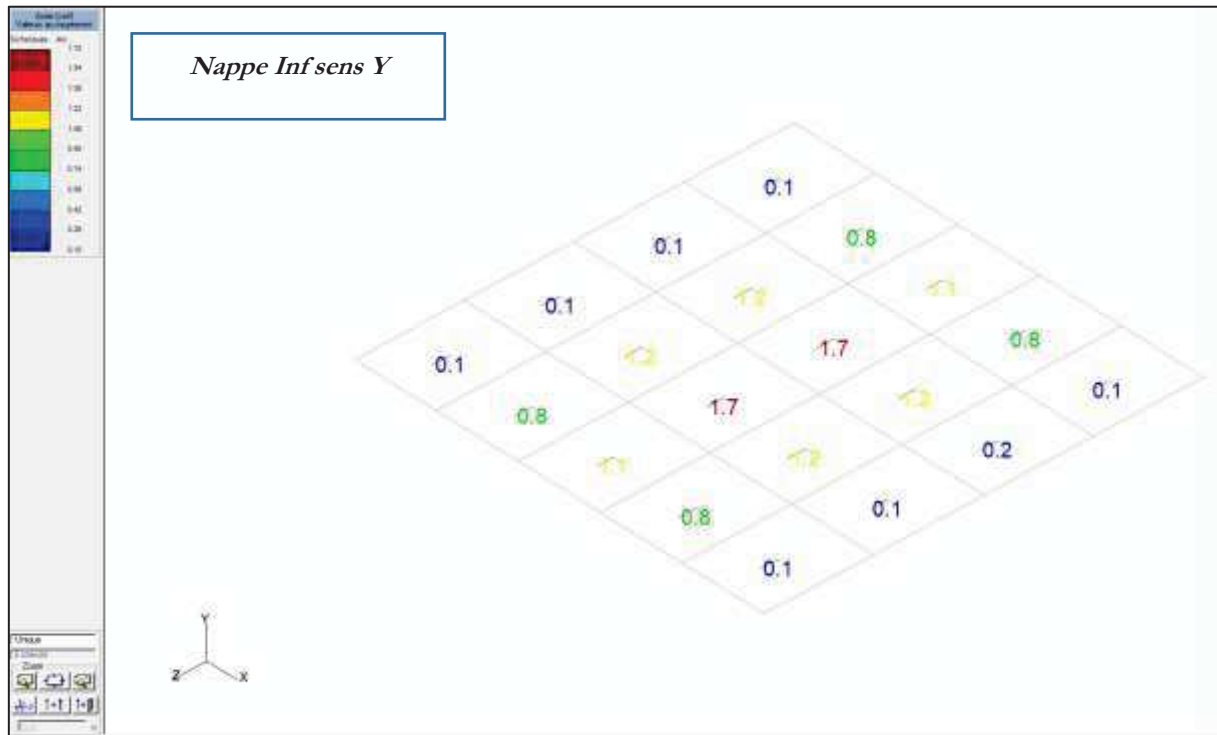


Figure. A-5 : Ferrailage théorique Nappe Inférieure -Sens Y -Traverse-D1

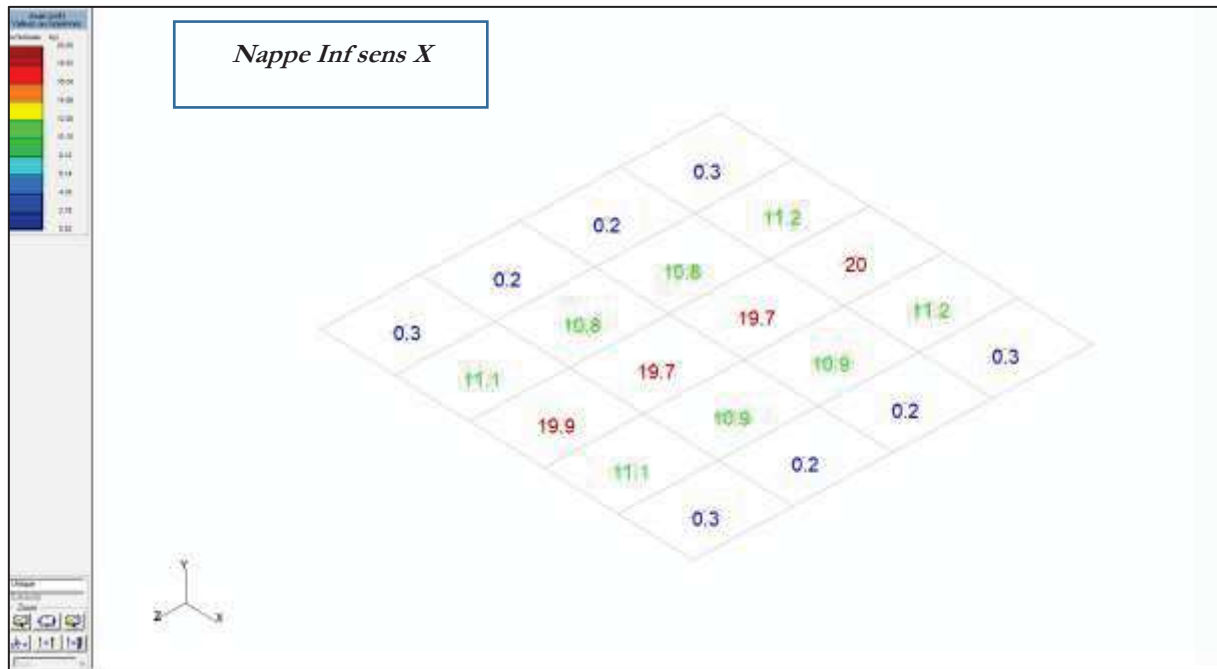


Figure. A-6 : Ferrailage théorique Nappe Inférieure -Sens X -Traverse-D1

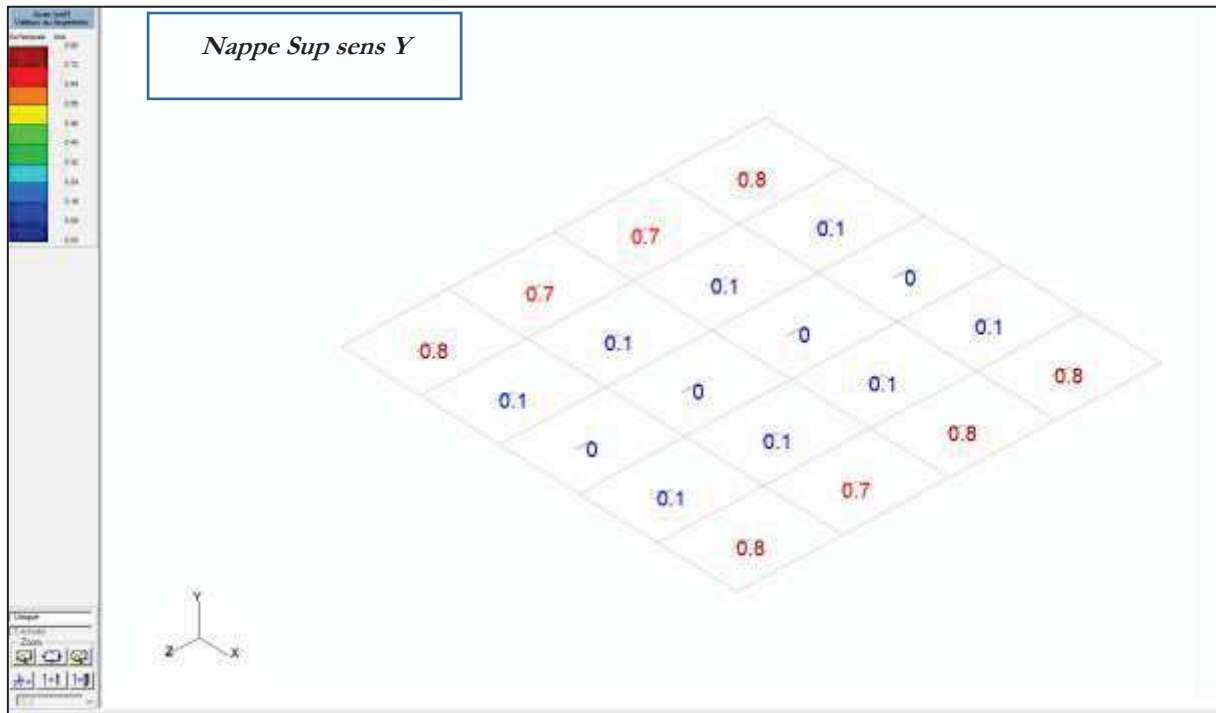


Figure. A-7 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens Y -Traverse-D1

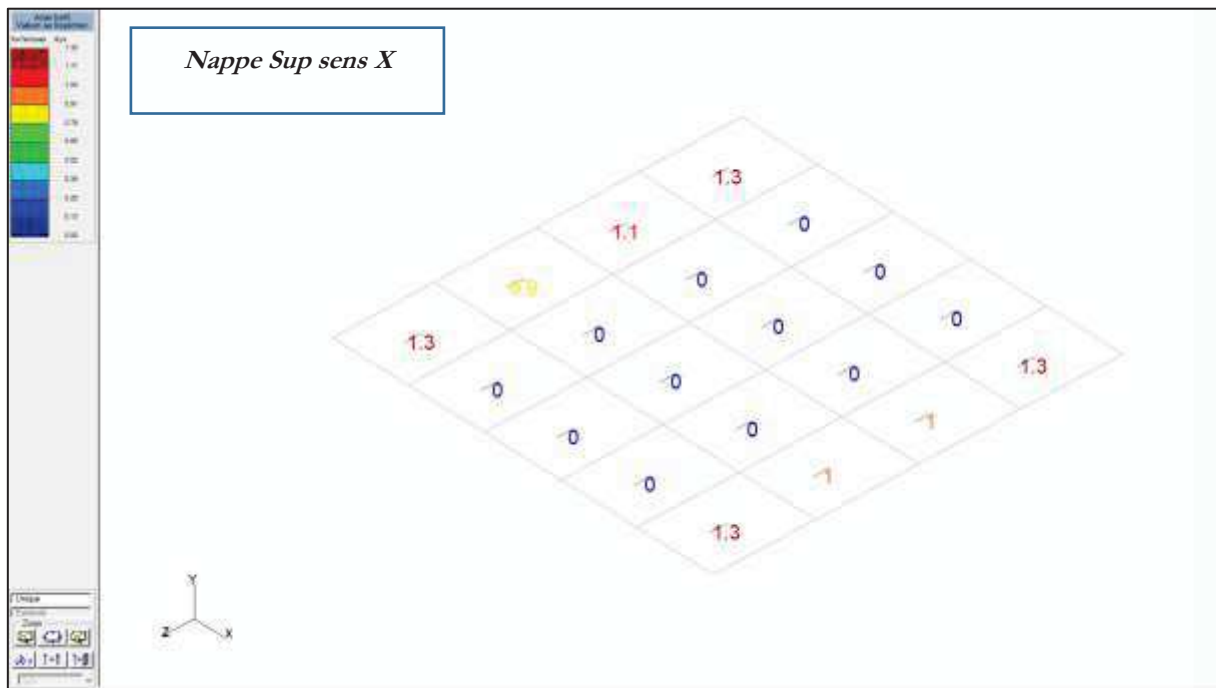


Figure. A-8 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens X -Traverse-D1

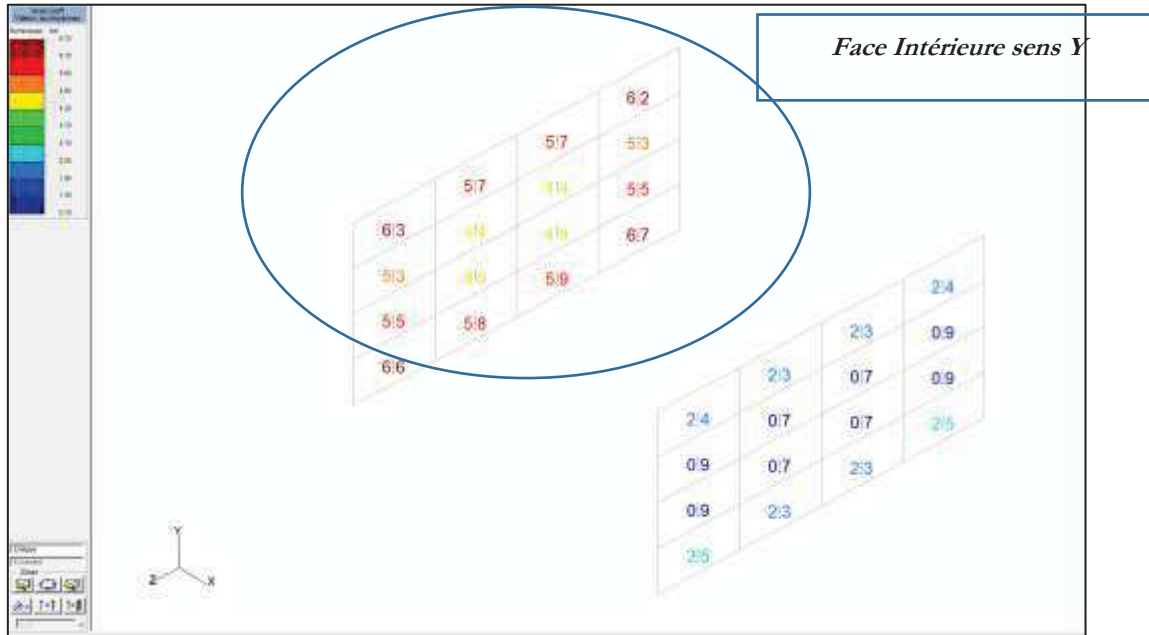


Figure. A-9: Ferrailage théorique -Face intérieure-Sens Y-Piédroits-D1

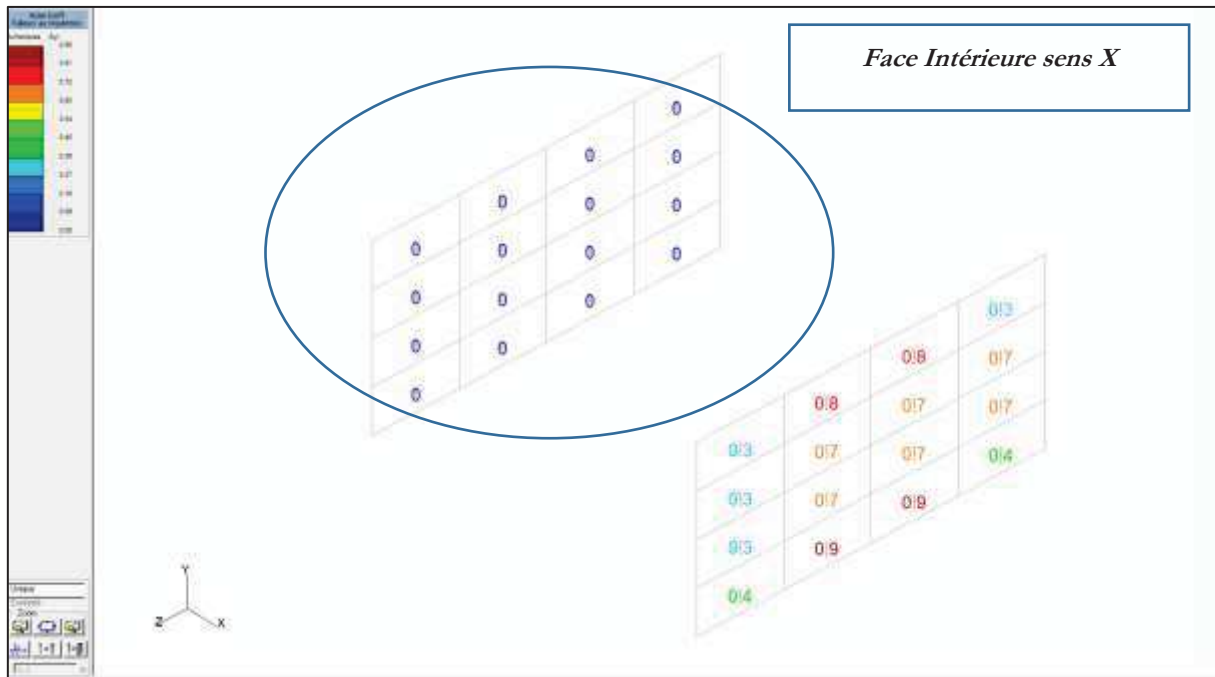


Figure. A-10 : Ferrailage théorique -Face intérieure-Sens X-Piédroits-D1

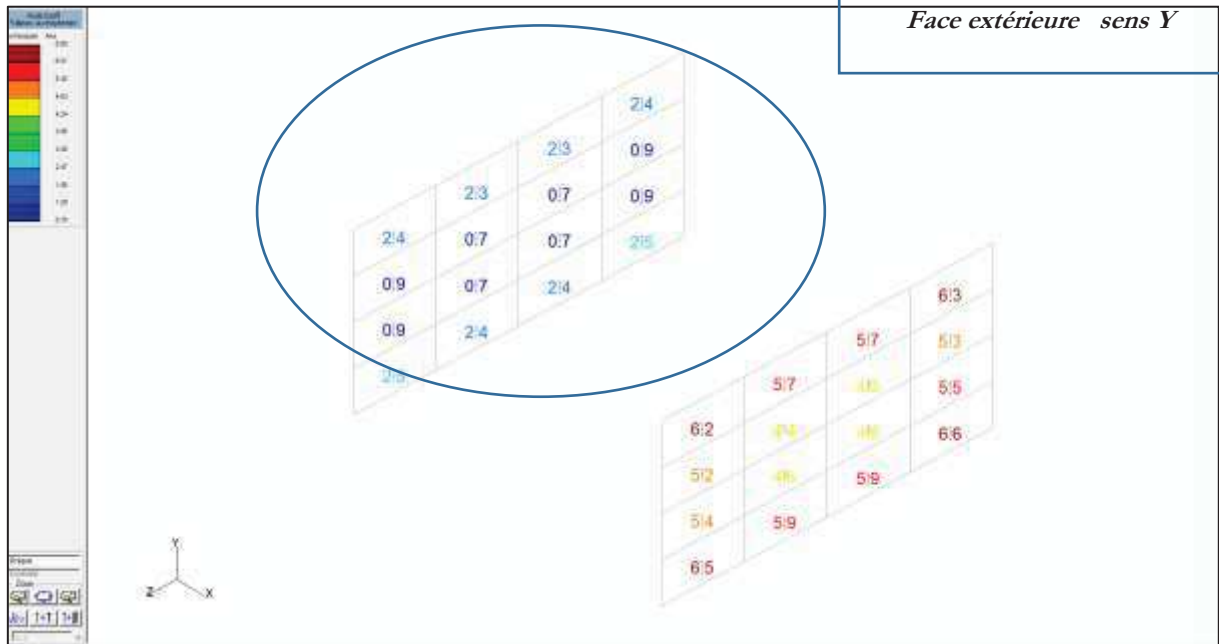


Figure. A-11 : Ferrailage théorique -Face extérieure-Sens Y-Piédroits-D1

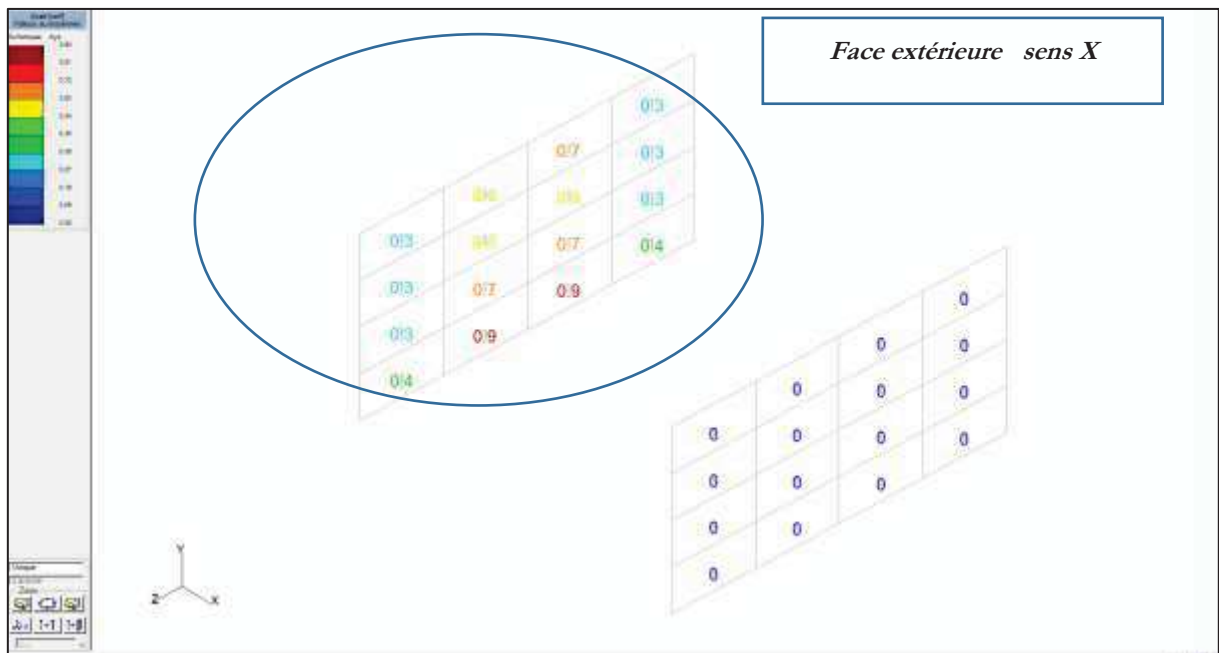


Figure. A-12 : Ferrailage théorique -Face extérieure-Sens X-Piédroits-D1

ANNEXE B : Résultats des calculs _ Dalot type 2

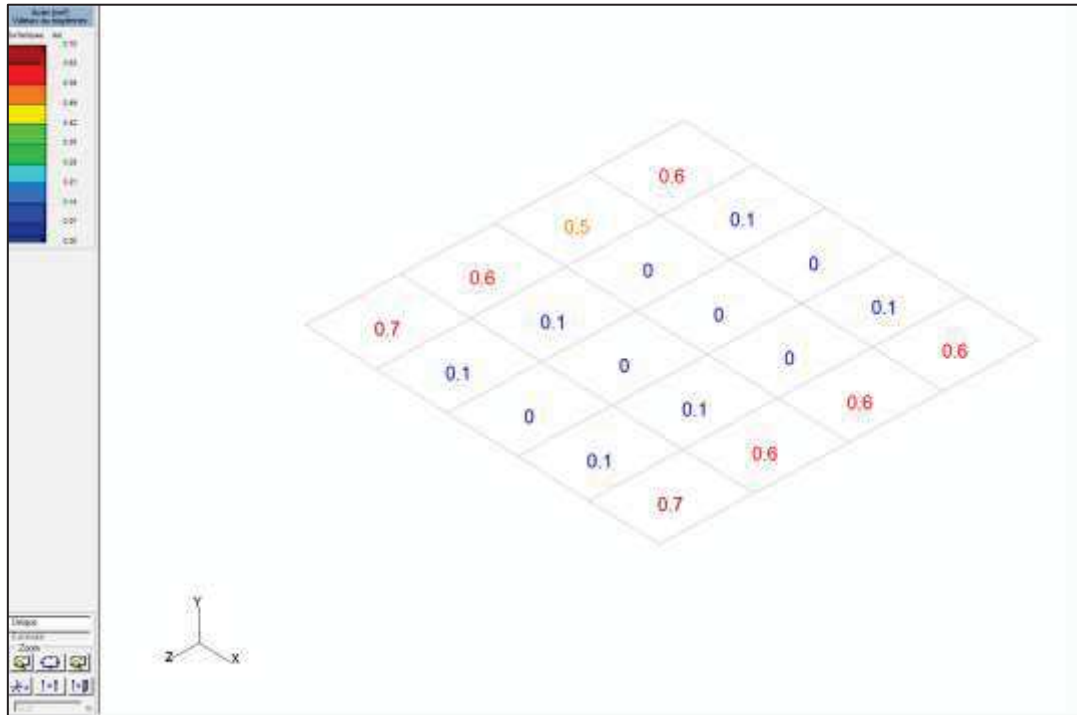


Figure. B-1 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens Y -Radier-D2

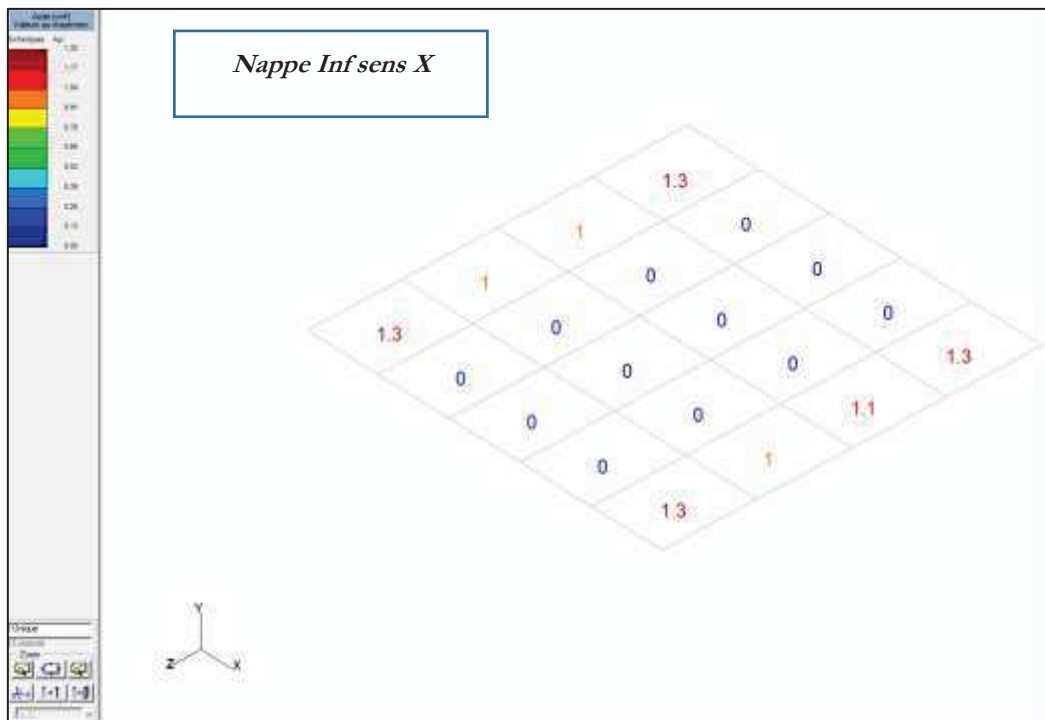


Figure. B-2 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens X -Radier-D2

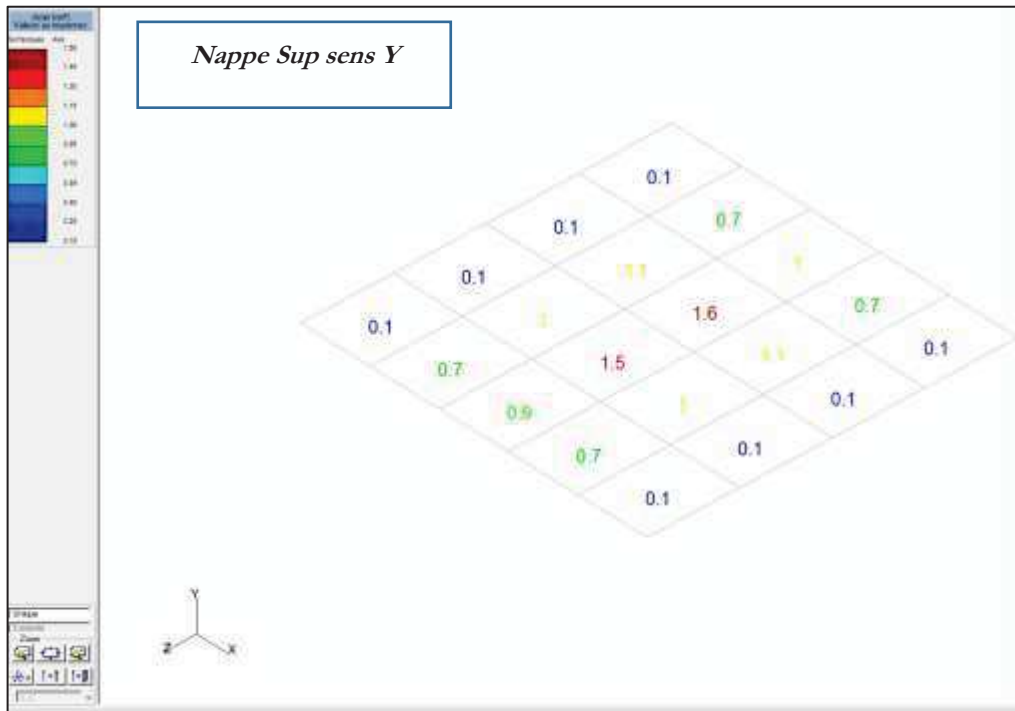


Figure. B-3 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens Y -Radier-D2

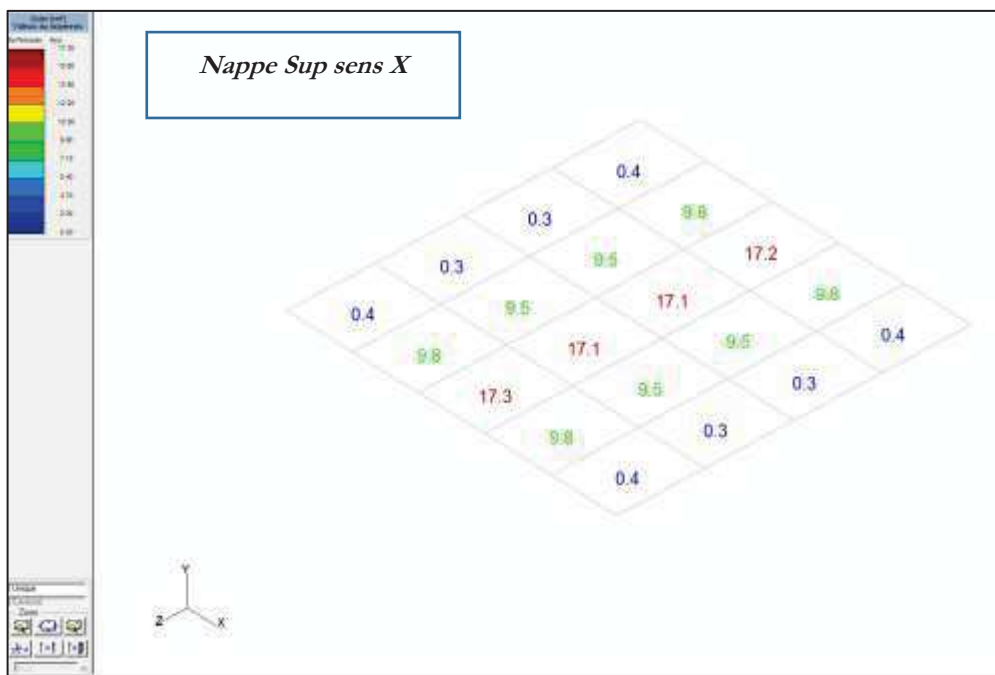


Figure. B-4 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens X -Radier-D2

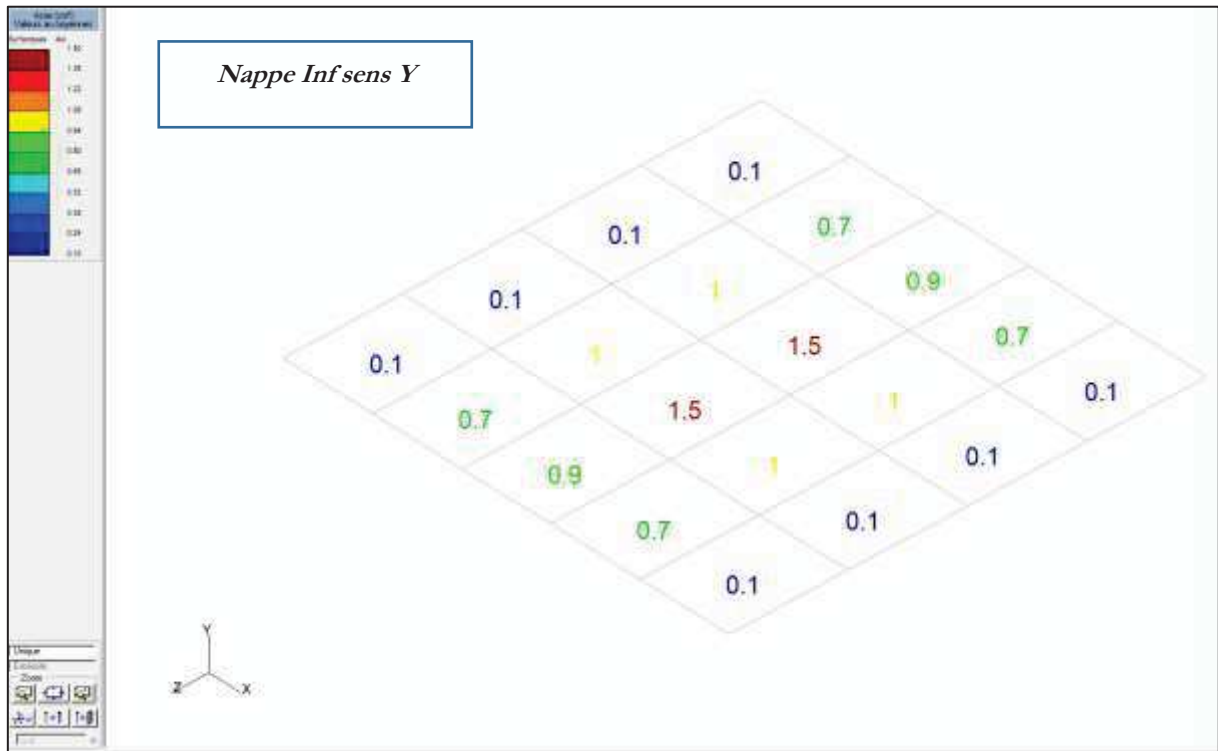


Figure. B-5 : Ferrailage théorique Nappe Inférieure -Sens Y -Traverse-D2

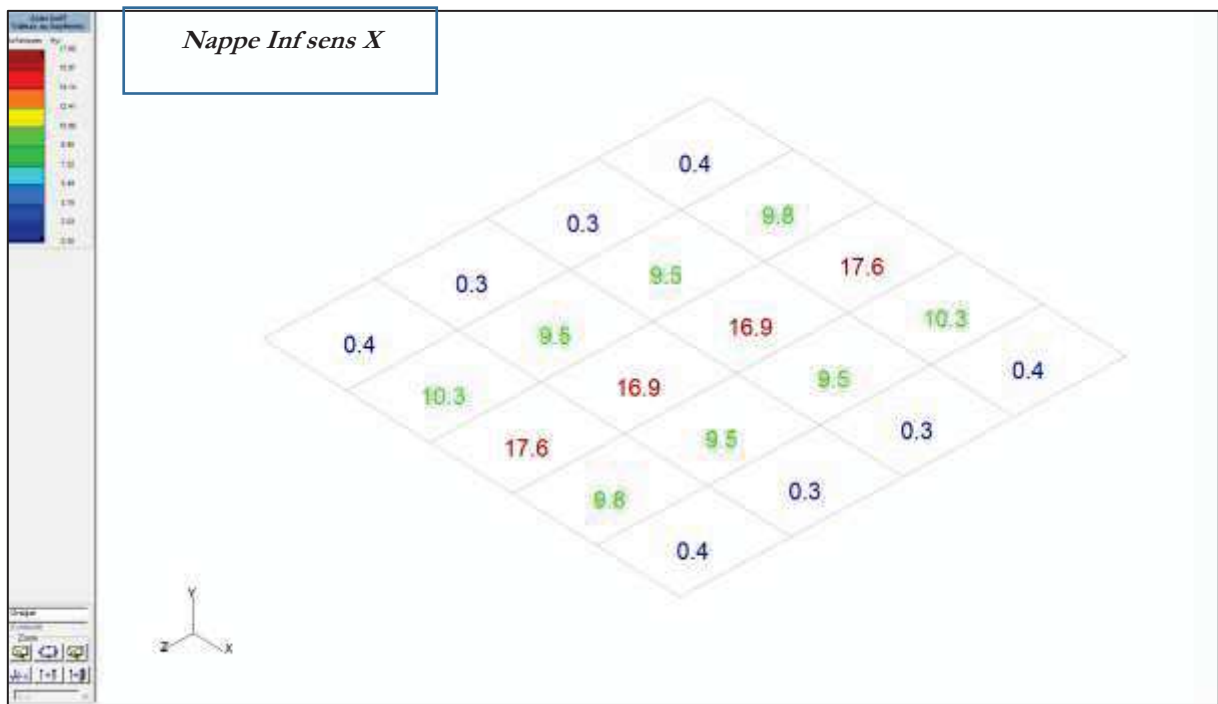


Figure. B-6 : Ferrailage théorique Nappe Inférieure -Sens X -Traverse-D2

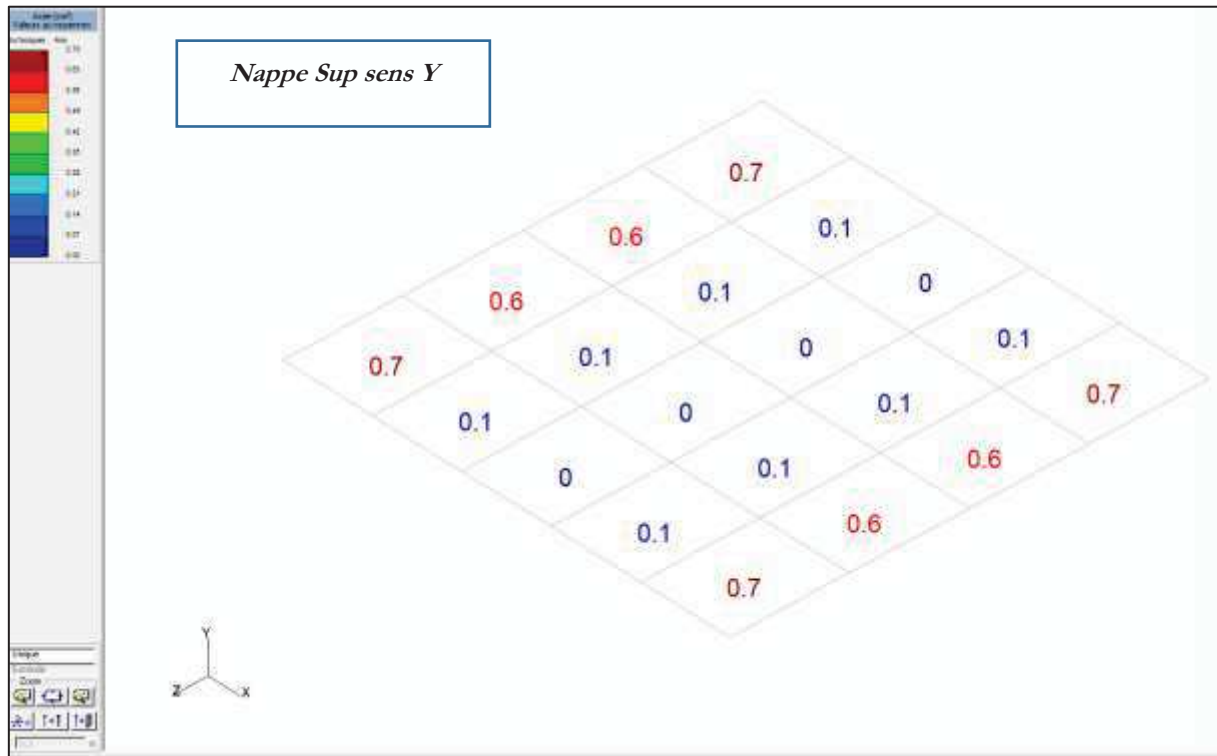


Figure. B-7 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens Y -Traverse-D2

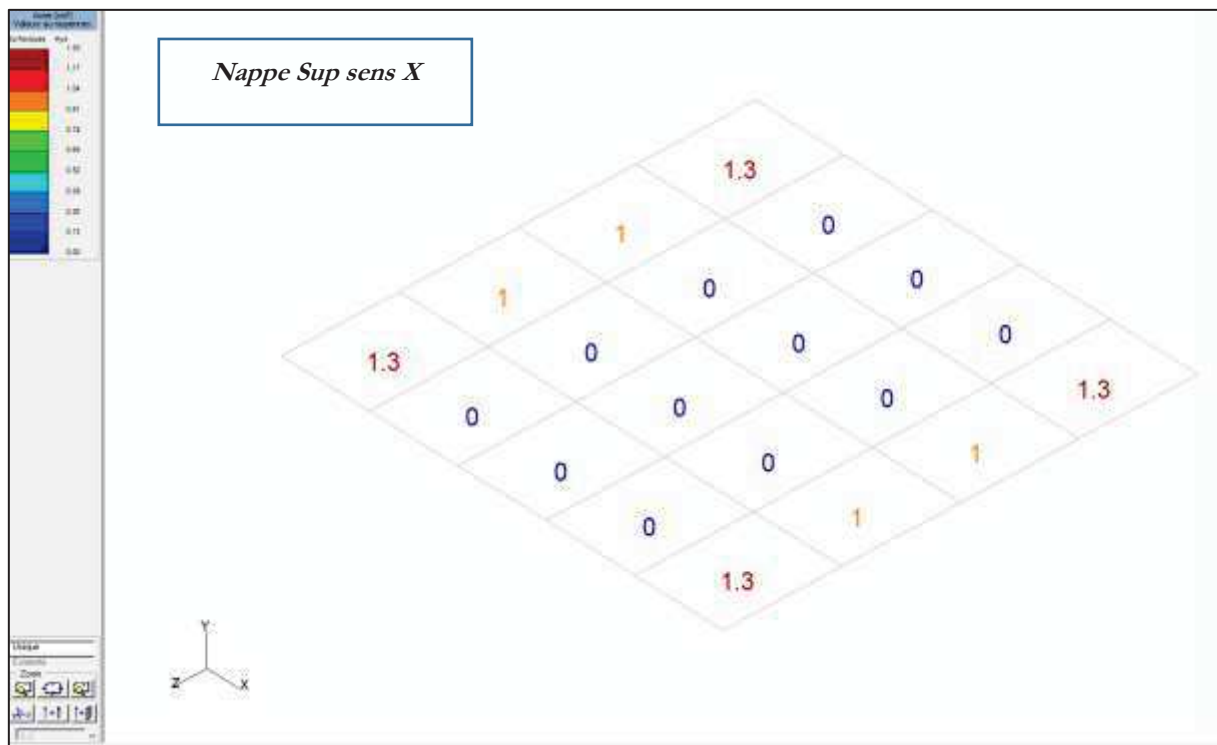


Figure. B-8 : Ferrailage théorique Nappe Supérieure -Sens X -Traverse-D2

Piédroits :



Figure. B-9 : Ferrailage théorique -Face intérieure-Sens Y-Piédroits-D2

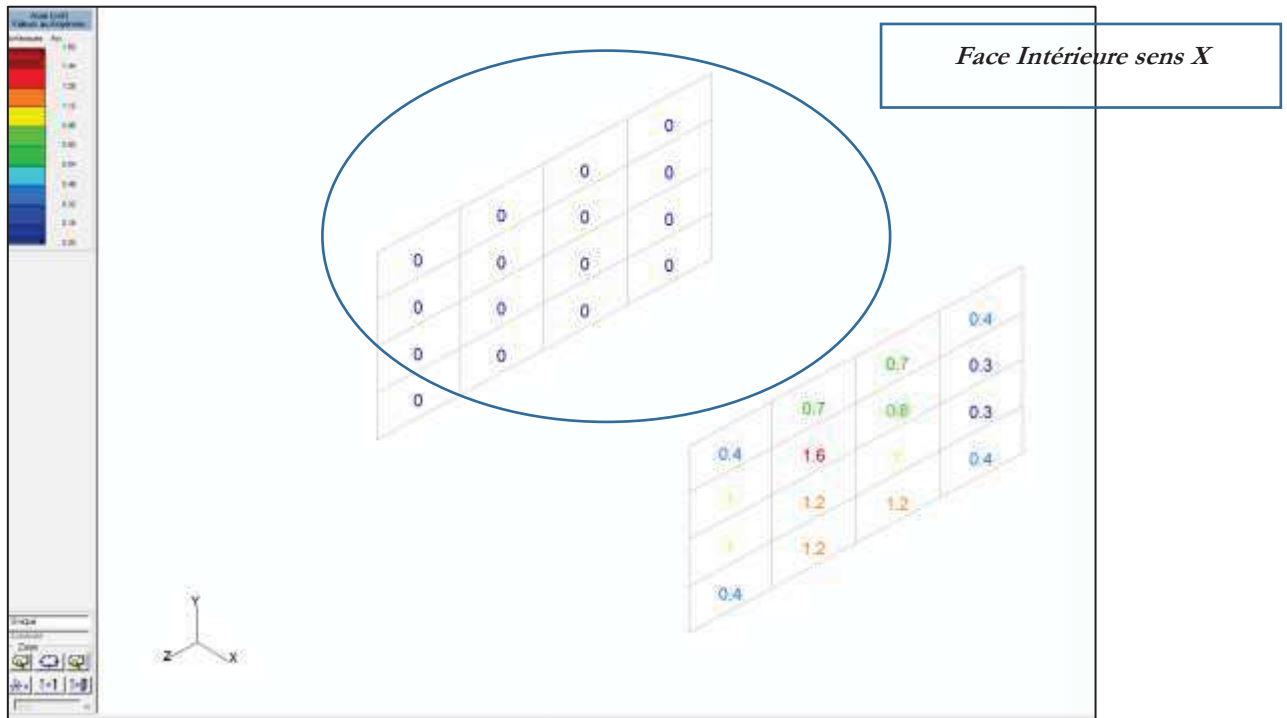


Figure. B-10 : Ferrailage théorique -Face intérieure-Sens X-Piédroits-D2

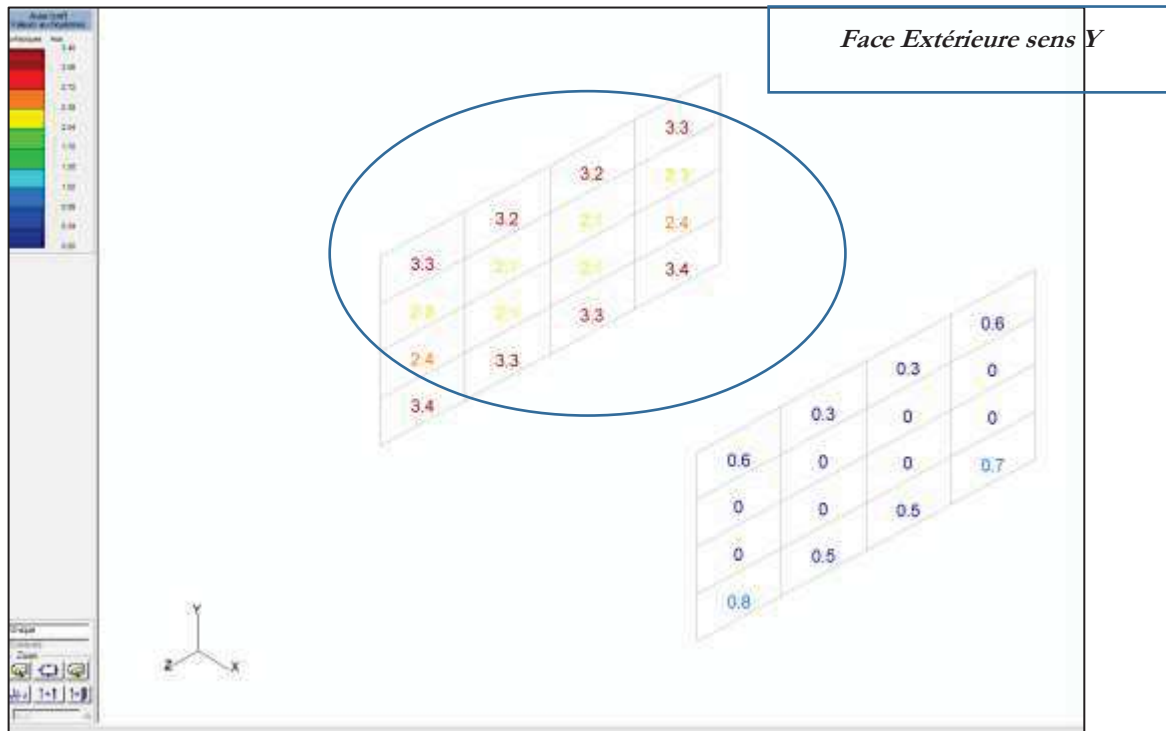


Figure. B-11 : Ferrailage théorique -Face extérieure-Sens Y-Piédroits-D2

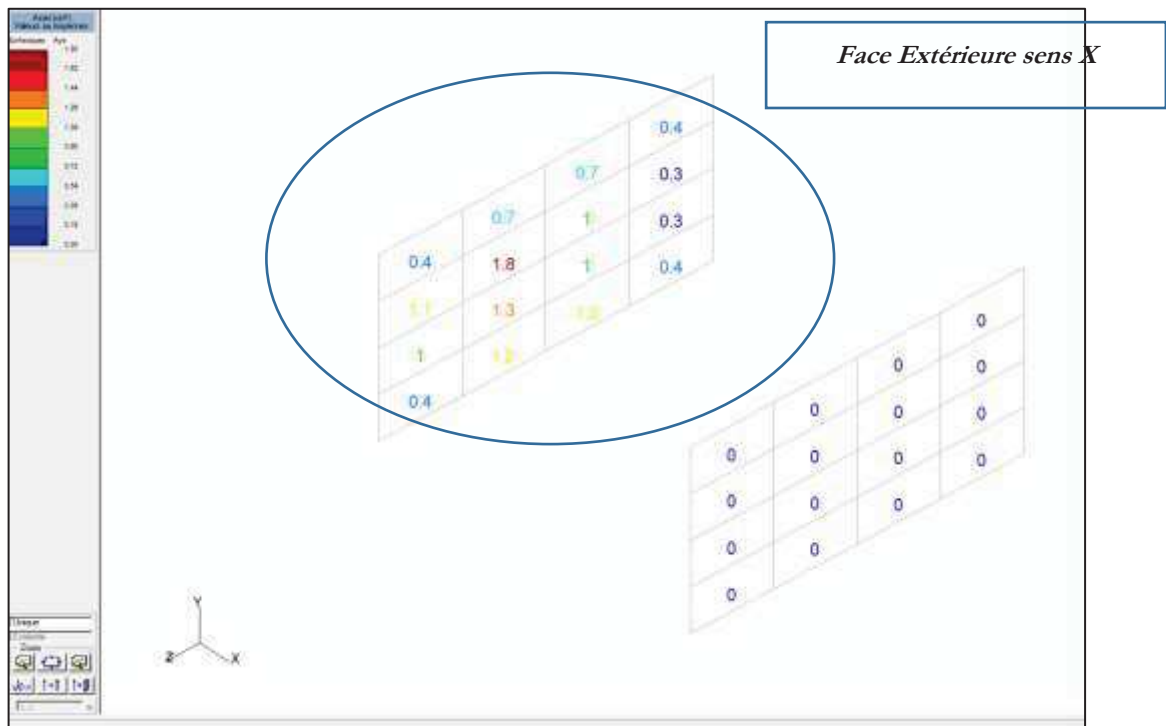


Figure. B-12 : Ferrailage théorique -Face extérieure-Sens X-Piédroits-D2

ANNEXE C : Résultats des calculs _ Dalot type 3

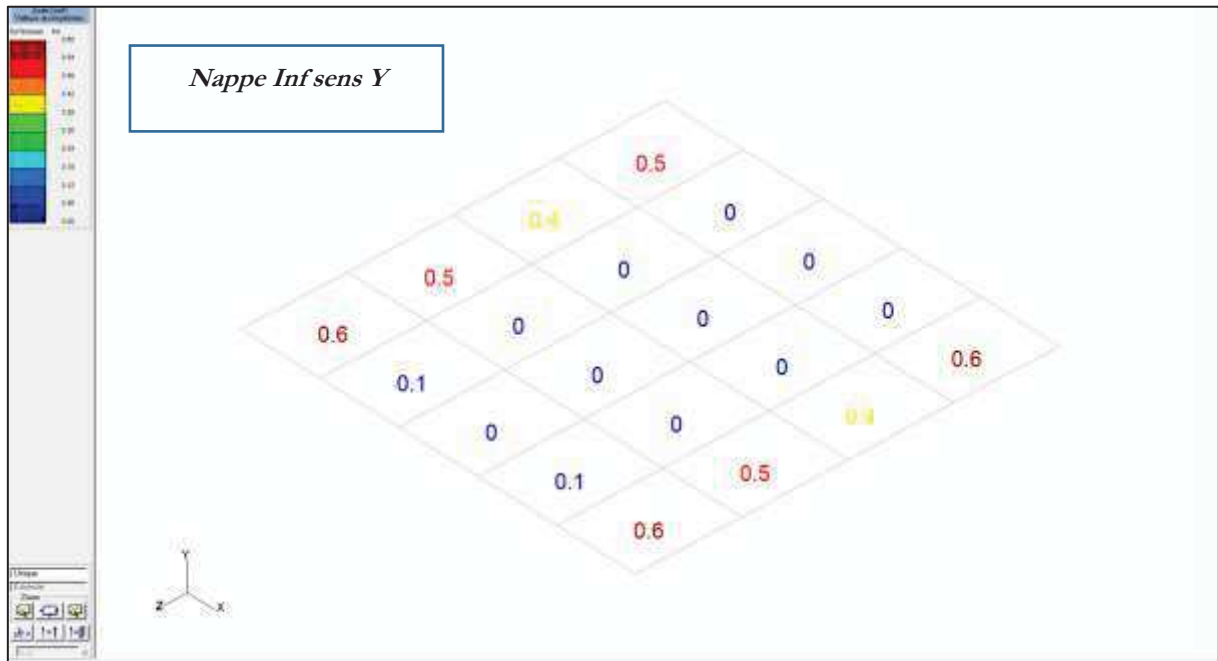


Figure. C-1 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens Y -Radier-D3

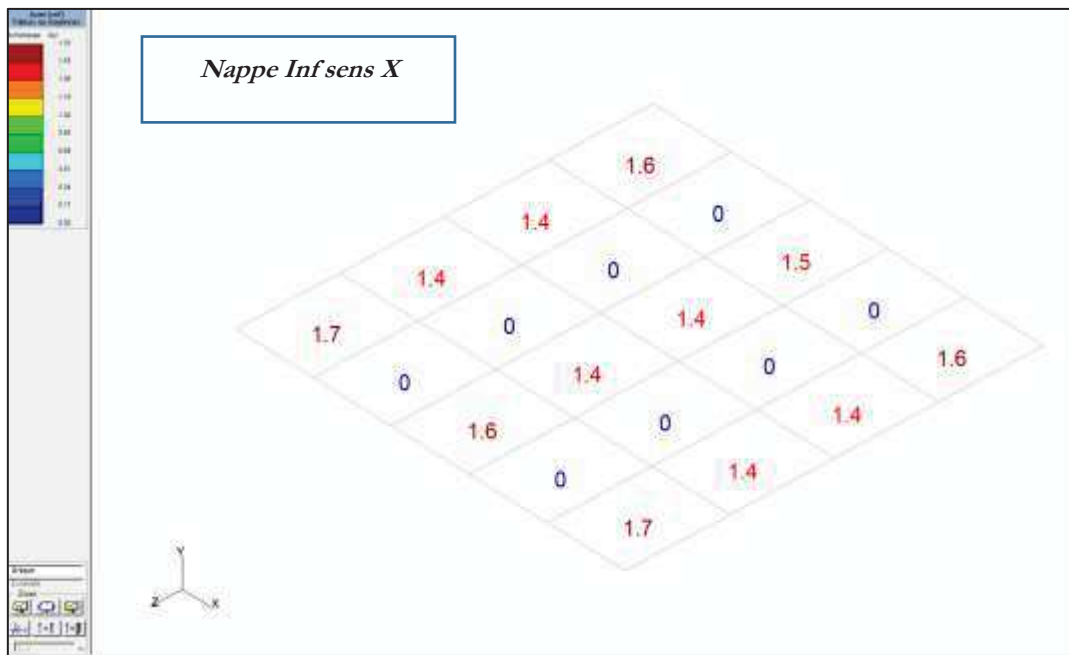


Figure. C-2 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens X -Radier-D3

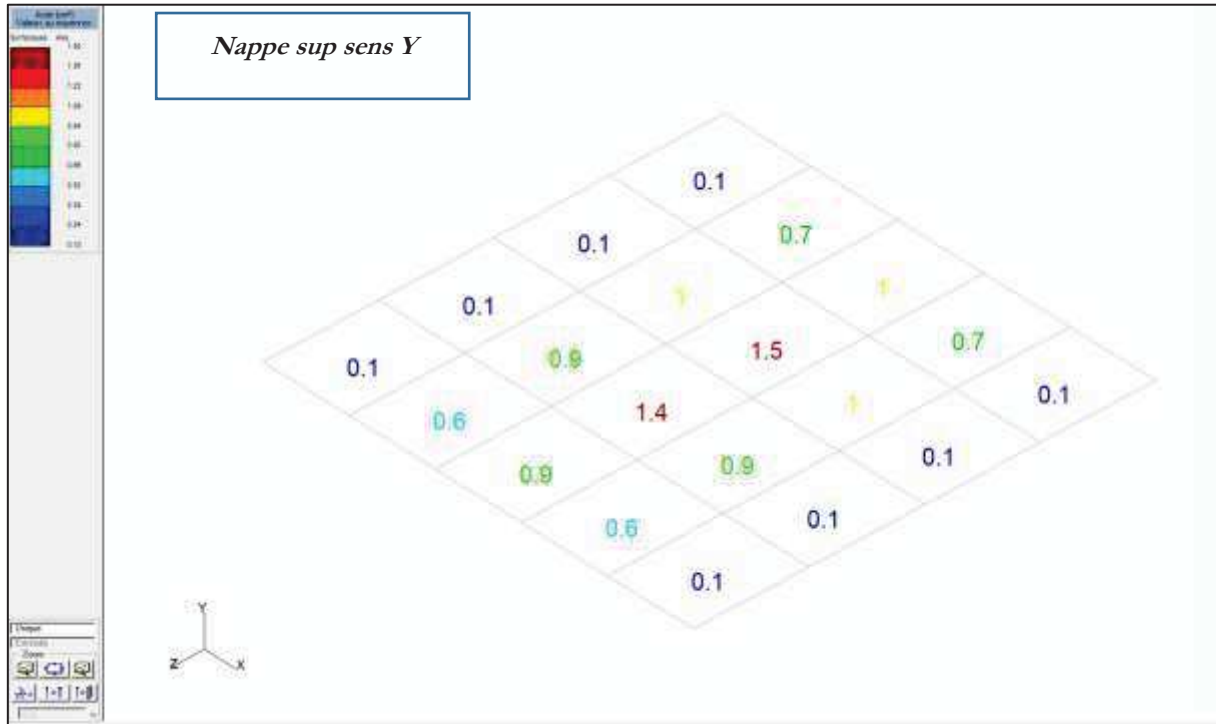


Figure. C-3 : Ferrailage théorique Nappe supérieure-Sens Y -Radier-D3

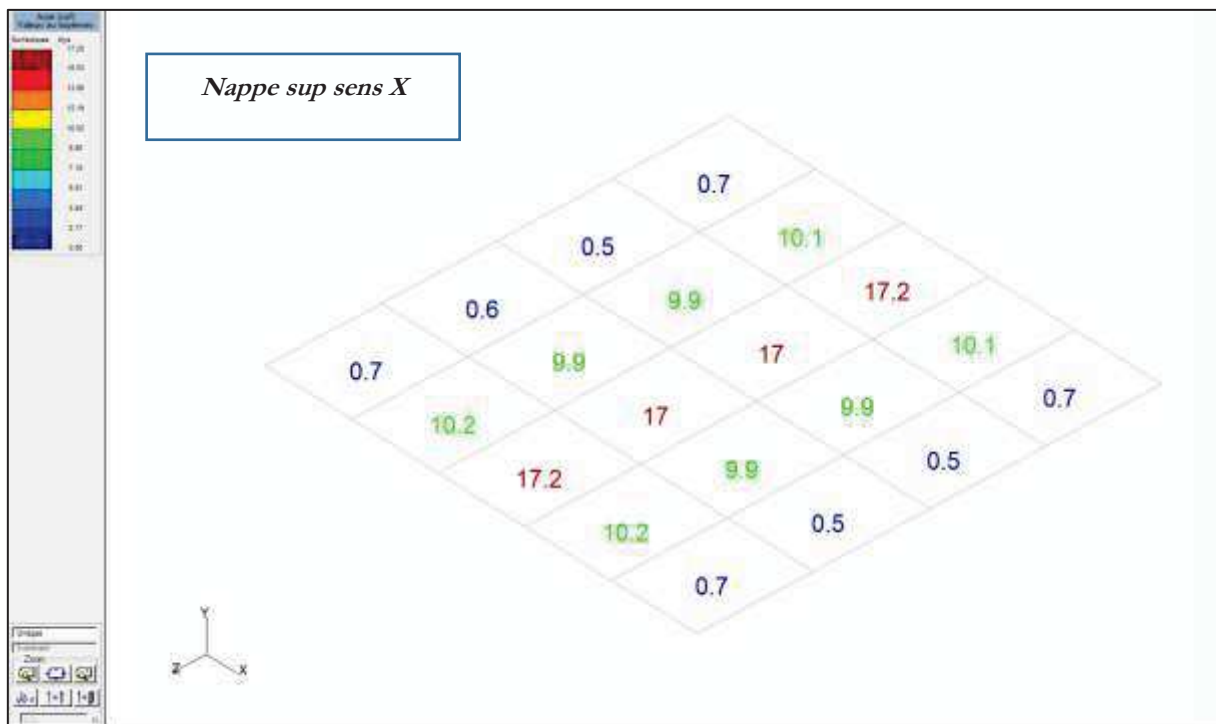


Figure. C-4 : Ferrailage théorique Nappe supérieure-Sens X -Radier-D3

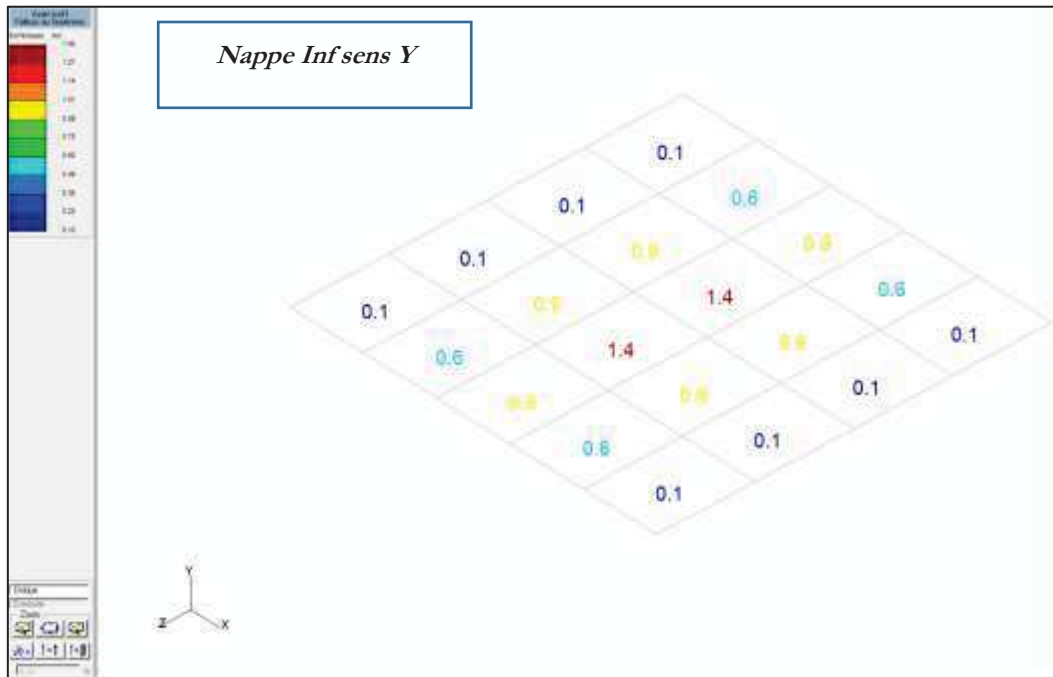


Figure. C-5 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens Y -Traverse -D3

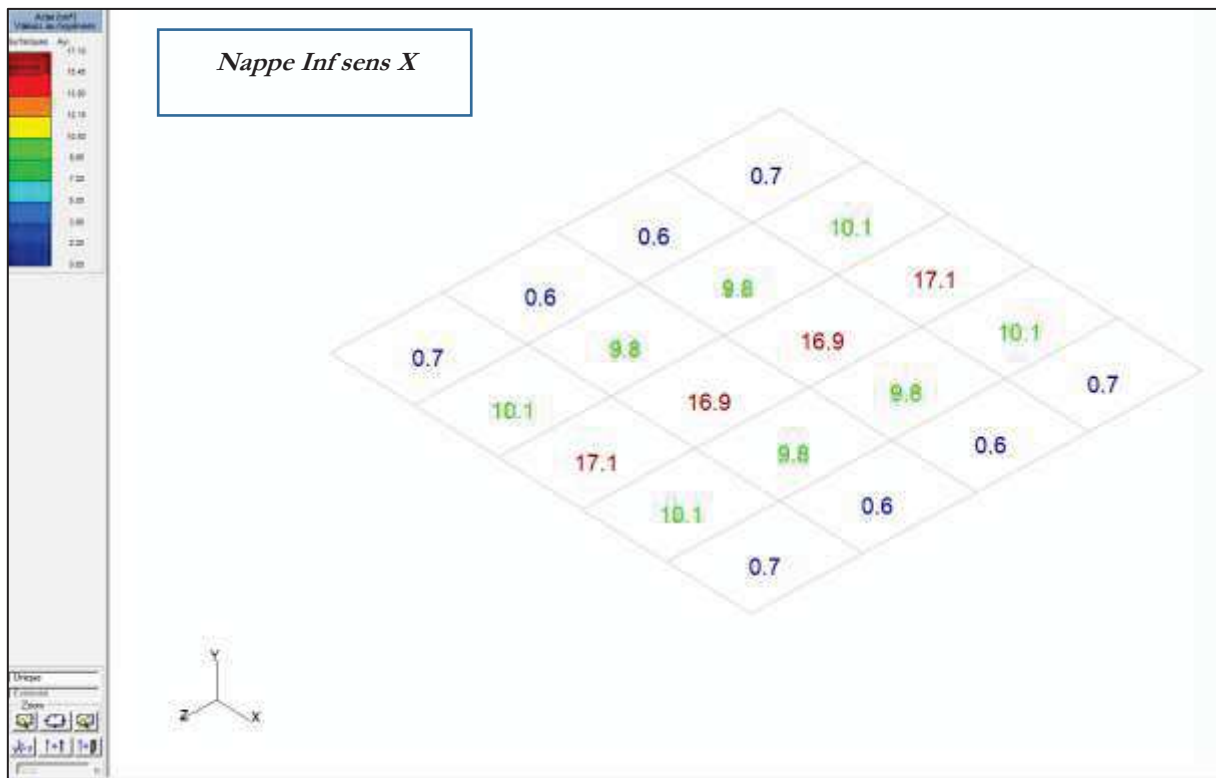


Figure. C-6 : Ferrailage théorique Nappe inférieure-Sens X -Traverse -D3

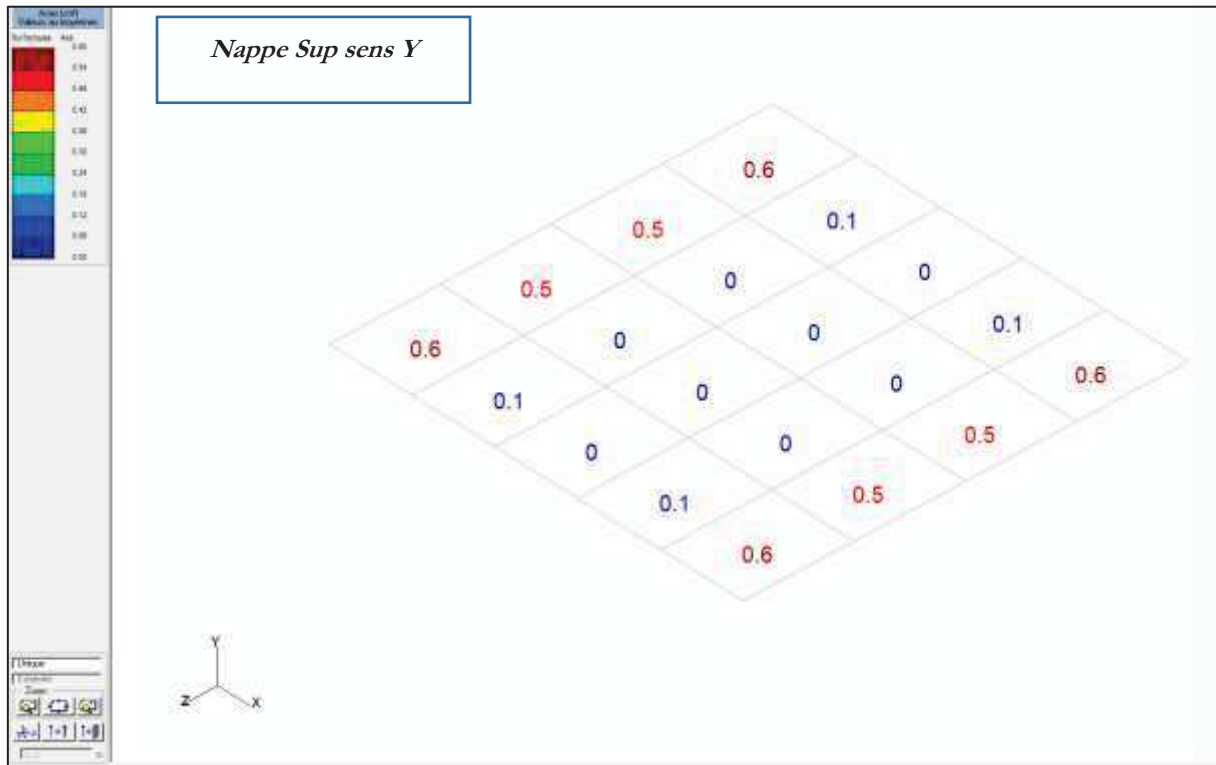


Figure. C-7 : Ferrailage théorique Nappe supérieure-Sens Y -Traverse -D3

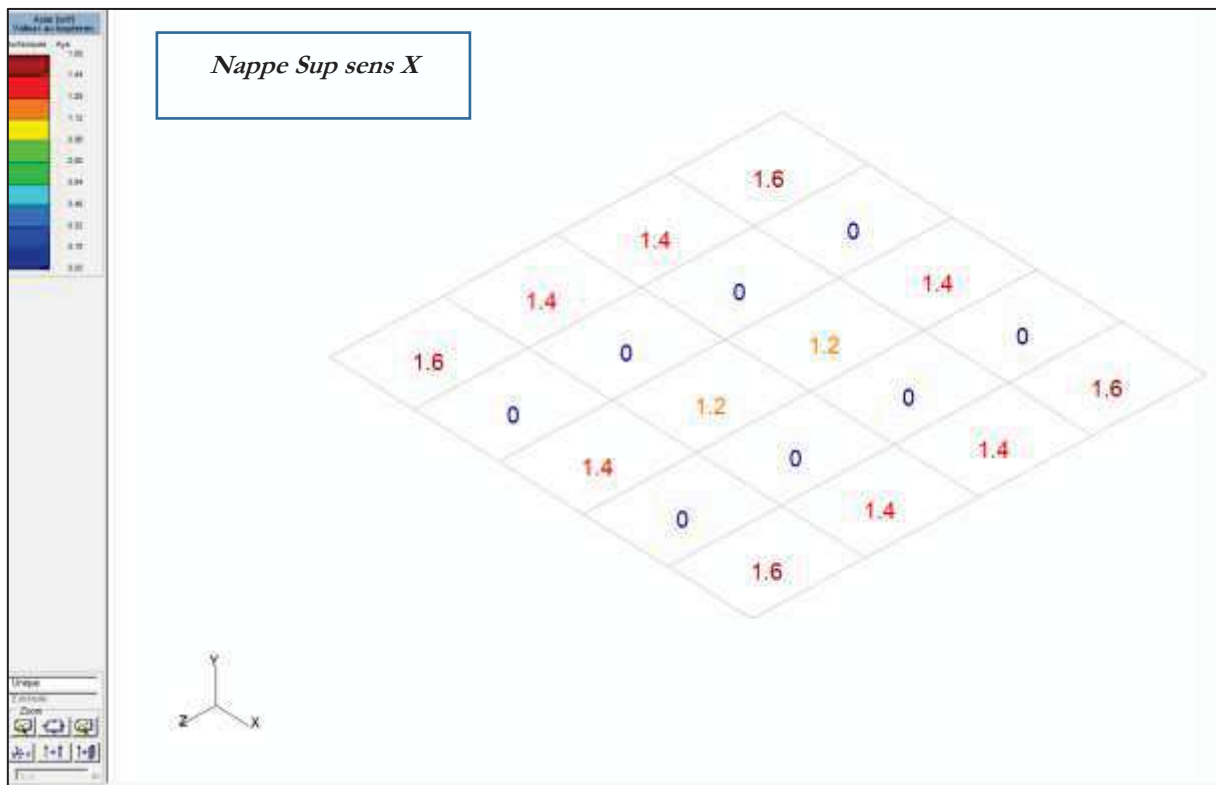


Figure. C-8 : Ferrailage théorique Nappe supérieure-Sens X -Traverse -D3

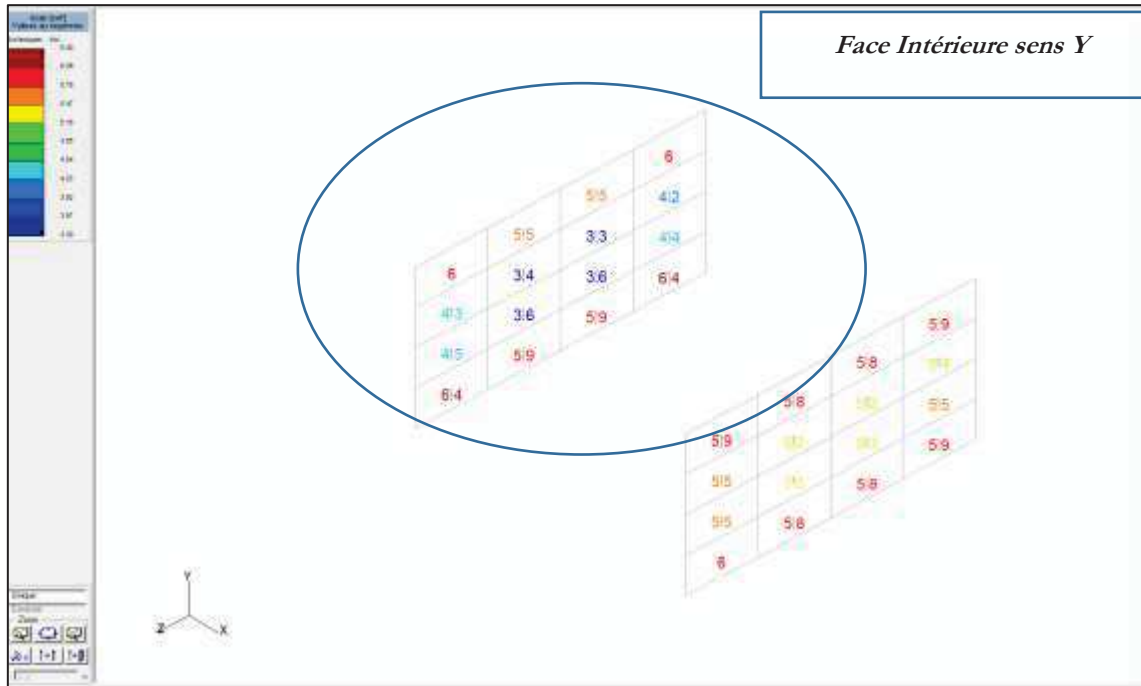


Figure. C-9 : Ferrailage théorique -Face intérieure-Sens Y-Piédroits-D3

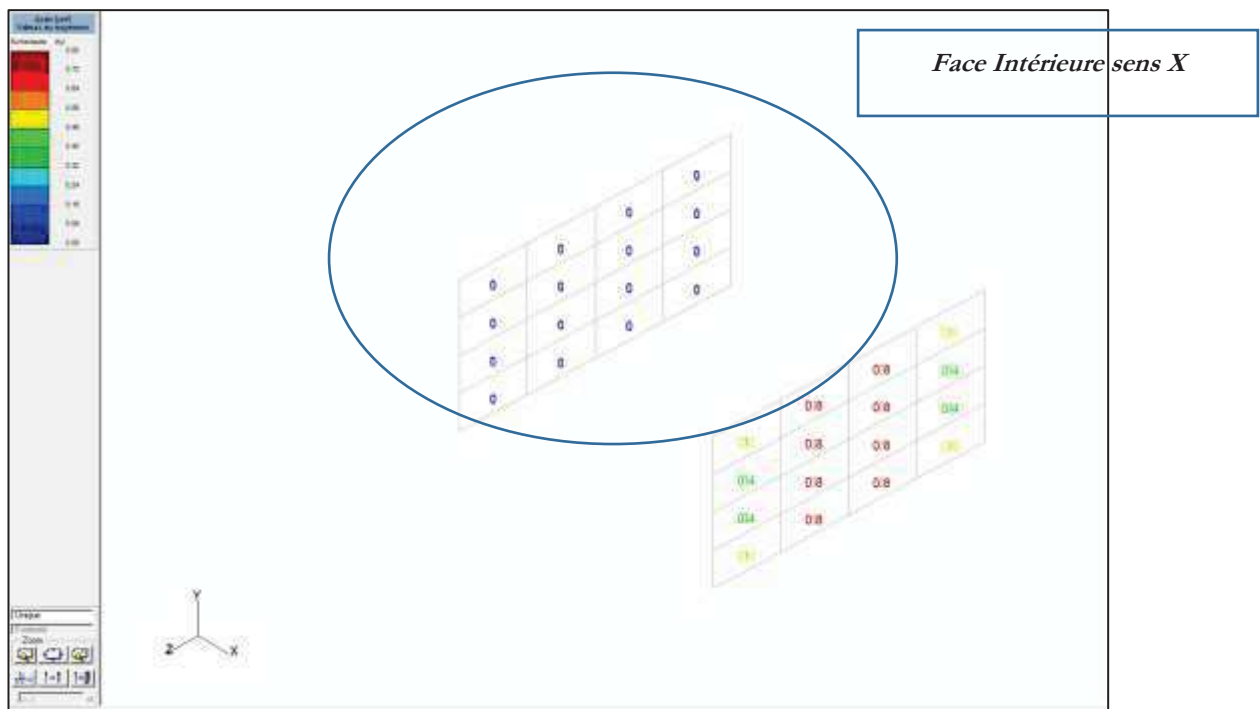


Figure. C-10 : Ferrailage théorique -Face intérieure-Sens X-Piédroits-D3

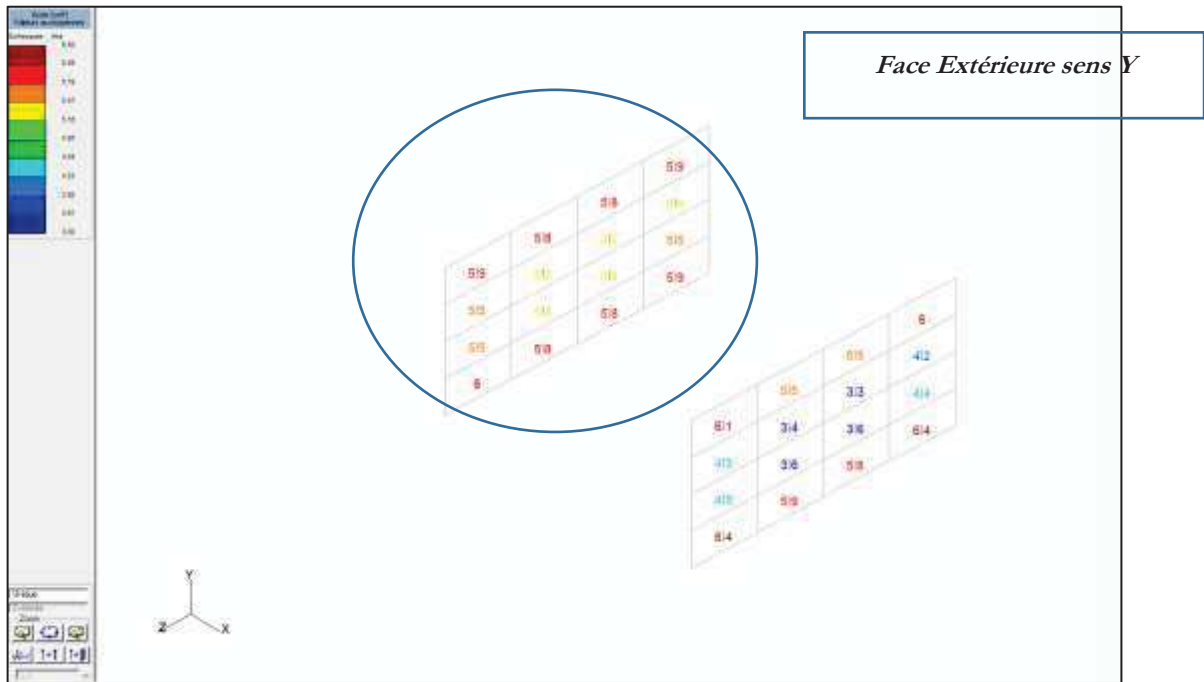


Figure. C-11 : Ferrailage théorique -Face extérieure-Sens Y-Piédroits-D3

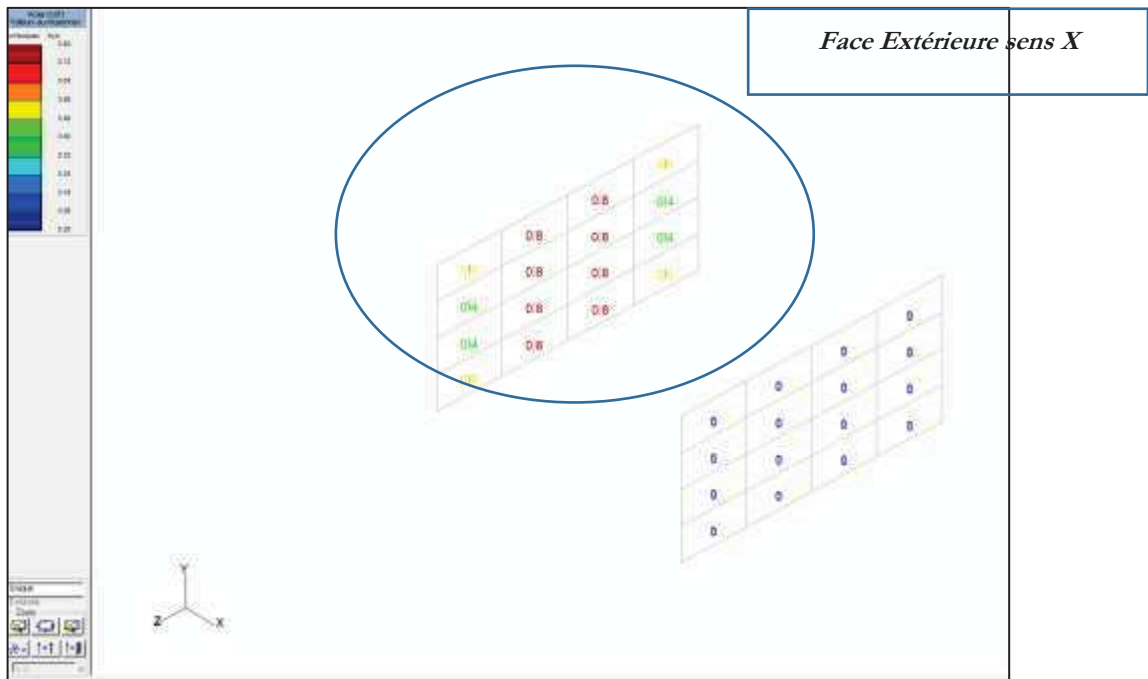


Figure. C-12 : Ferrailage théorique -Face extérieure-Sens -Piédroits-D3