

PLANCHERS À PRÉDALLES

GUIDE D'APPLICATION DU FASCICULE DE DOCUMENTATION SUR LE SYSTEME L.P.P.V.E.

édition du 30/11/2016



Avant-propos

Les planchers intermédiaires et toitures terrasses de bâtiments (tertiaires, industriels, stockage, publics tels qu'écoles, hôpitaux, etc.) sont souvent réalisés à l'aide de prédalles en béton précontraint ou en béton armé. Dans bien des cas, le niveau d'arrêt de coulage des voiles se situe au-dessus de la sous face du plancher. Les prédalles ne peuvent prendre appui directement sur leur support (voiles ou poutre) ; les appuis sont alors dits « suspendus ». Ce type de condition d'appui nécessite la prise en compte de dispositions particulièrement précises et rigoureuses pour assurer la pérennité de la liaison et celle des bâtiments.

Le Fascicule de Documentation FD P18-720 publié par l'AFNOR traite d'une disposition de **Liaison Plancher à Prédalles et Voile avec Engravure dite LPPVE** utilisable en zone sismique.

Il a été élaboré par un groupe d'experts dont la liste figure dans les premières pages du document.

Le présent document, organisé en quatre chapitres, constitue un Guide d'application du FD P18-720.

Le chapitre 1 propose, pour les épaisseurs courantes de planchers à prédalles, les solutions standards :

- vérifiant les exigences de compatibilité géométriques pour la configuration considérée ;
- et précisant les capacités résistantes de la liaison avec ces dispositions.

***NOTE** D'autres solutions peuvent être admises moyennant une étude particulière.*

Le chapitre 2 détaille les vérifications à réaliser hors séisme et donne un exemple d'application.

Le chapitre 3 expose les vérifications spécifiques à réaliser pour les ouvrages devant être vérifiés vis-à-vis des sollicitations sismiques.

Le chapitre 4 présente enfin la mise en œuvre du système L.P.P.V.E.

Sommaire

Chapitre 1 Tableaux de prédimensionnement des boîtes d'attente pour les cas courants 4

1.1 Hypothèses	4
1.2 Disposition des armatures de chaînage périphérique	5
1.3 Boîtes d'attente compatibles avec les épaisseurs courantes de planchers à prédalles	6

Chapitre 2 Détail des vérifications et exemples hors séisme..... 10

2.1 Termes et définitions.....	10
2.2 Prescriptions géométriques	12
2.3 Dimensionnement sans armature d'effort tranchant.....	16
2.4 Dimensionnement avec armatures d'effort tranchant.....	19
2.5 Exemple d'application	21

Chapitre 3 Détail des vérifications et exemples sous séisme 26

3.1 Cisaillement résistant à la surface de reprise.....	26
3.2 Cisaillement résistant dans le béton coulé en place.....	28
3.3 Cisaillement résistant en partie courante du plancher	28
3.4 Exemple numérique 1	29
3.5 Exemple numérique 2	31

Chapitre 4 Principes de mise en œuvre..... 33

4.1 Objet.....	33
4.2 Mise en place du système LPPVE.....	33
4.3 Armatures du voile.....	34
4.4 Coulage du voile	35
4.5 Pose de la prédalle redressage des armatures et pose des barres de renfort	36

Chapitre 1 Tableaux de prédimensionnement des boîtes d'attente pour les cas courants

1.1 Hypothèses

La liaison plancher voile considérée et les paramètres utilisés dans ce chapitre sont illustrés dans la Figure 1 ci-dessous. L'ensemble des dimensions figurant dans les figures ou les tableaux sont exprimées en millimètres.

Deux hypothèses de mise en œuvre sont examinées :

1. cas où la banche intérieure est posée en premier ;
2. cas où la banche extérieure est posée en premier.

En l'absence de précision sur la méthode de mise en œuvre retenue par l'entreprise, la conception est réalisée en considérant que la banche extérieure est posée en premier.

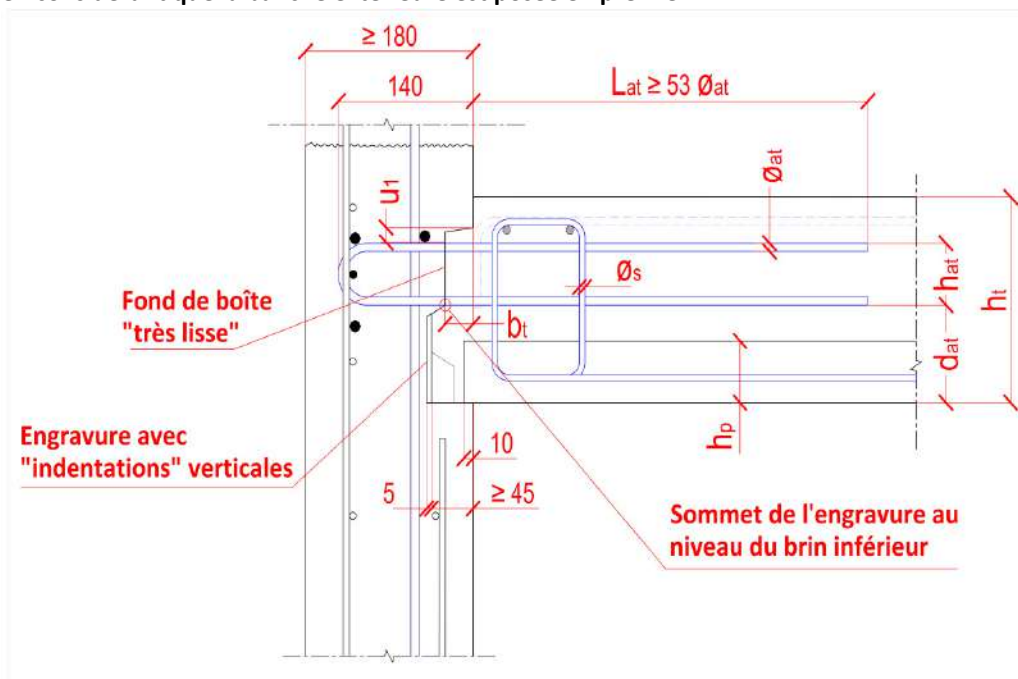


Figure 1 – Schéma de liaison L.P.P.V.E.

Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- béton de la dalle de compression de classe C25/30
- dalle suspendue sur un côté ou sur les deux côtés ;
- enrobage des armatures de béton armé par rapport à la face supérieure de la dalle, défini en fonction de la classe d'exposition (article 4.4.1 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale) :
 - $c_{nom} = 20$ mm en classe d'exposition XC1 ;
 - $c_{nom} = 30$ mm en classe d'exposition XC2/XC3.

Commentaires :

Pour la classe d'exposition XC1, l'enrobage minimal est déterminé avec minoration de 1 classe (épaisseur de béton coulé en place inférieure à 25 cm), soit $c_{min,dur} = 10$ mm. L'enrobage nominal c_{nom} est pris égal à l'enrobage minimal augmenté de $\Delta c_{dev} = 10$ mm pour prise en compte des tolérances d'exécution.

Pour la classe d'exposition XC2/XC3, l'enrobage nominal c_{nom} est pris égal à l'enrobage minimal $c_{min,dur} = 25$ mm augmenté de $\Delta c_{dev} = 5$ mm. La valeur réduite de Δc_{dev} est justifiée par les modalités d'exécution :

- tracé sur le voile du niveau supérieur du plancher brut servant de repère visuel lors du coulage de la dalle ;
- vérification de l'implantation de la boîte d'attente.

- suspentes de diamètre $\phi_s = 6 \text{ mm}$;
- dépassement des attentes $L_{at} \geq 53 \phi_{at}$
- décalage vertical entre le brin supérieur de la boîte d'attente et le sommet de la boîte $u_1 \geq 5 \text{ mm}$ (voir Figure 1);
- sommet de l'engravure correspondant au niveau du brin inférieur de la boîte d'attente (voir Figure 1) et b_t distance horizontale entre le nu intérieur du voile et le point critique pour le passage du béton vérifiant $b_t \geq 30 \text{ mm}$
- états de surface en fond de réservation (au sens du chapitre 6.2.5 de la NF EN 1992-1-1):
 - fond de boîte « très lisse »
 - engravure avec « indentations » verticales
- fonctionnement sans armature d'effort tranchant (résistance du béton seul) ;

Commentaires :

Les tableaux peuvent également être utilisés pour une configuration ne présentant pas d'indentation au niveau de l'engravure, sous réserve de retenir, pour la capacité résistante $V_{Rd,H}$, la valeur donnée dans les tableaux divisée par un coefficient égal à 1,20.

Dans le cas d'hypothèses différentes, il sera nécessaire de réaliser une étude particulière.

1.2 Disposition des armatures de chaînage périphérique

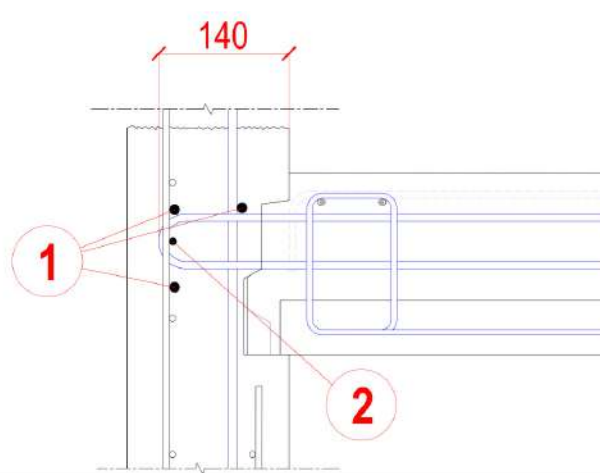


Figure 2 – Détail sur les armatures de chaînage

Les dispositions suivantes doivent être adoptées :

- le chaînage périphérique est réalisé par des armatures filantes repère ① et ② tel que représenté dans la Figure 2 ;
- les armatures ① et ② sont ligaturées au contact des armatures verticales du voile, afin de ne pas créer d'obstacle au bétonnage ;
- de plus, l'armature ②, de diamètre au moins égal à celui des attentes, est disposée dans la boucle formée par ces dernières.

Commentaire :

La pénétration de 140 mm des attentes dans le voile permet de ménager un espace suffisant entre les armatures pour faciliter la mise en œuvre et la vibration du béton.

1.3 Boîtes d'attente compatibles avec les épaisseurs courantes de planchers à prédalles

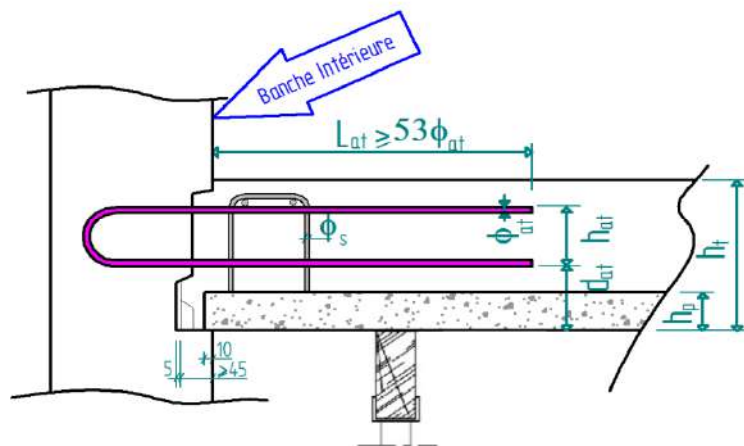
		Classe d'exposition XC1				Classe d'exposition XC2/XC3							
épaisseur plancher	épaisseur prédalles	Banche intérieure posée en premier		Banche extérieure posée en premier		Banche intérieure posée en premier		Banche extérieure posée en premier					
h_t	h_p	d_{at}	h_{at}	d_{at}	h_{at}	d_{at}	h_{at}	d_{at}	h_{at}				
170	50	85	60										
180	50/60												
190	50/60		95	50	85	60	95	50					
200	50/60								80	60	80	60	
210	50/60												
220	50/60								100	80			100
230	50/60												
240	50/60					100		100			100		
250	50/60												

Tableau 1 - Compatibilité géométrique

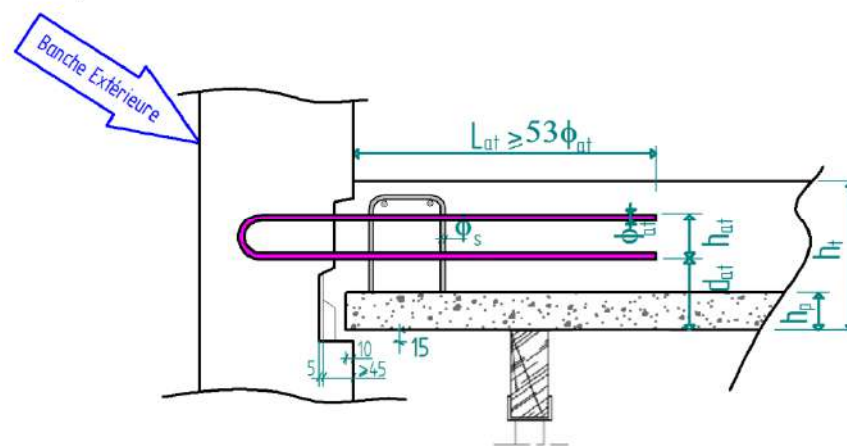
NOTE : En l'absence de précision sur la méthode de mise en œuvre retenue par l'entreprise, la conception est réalisée en considérant que la banche extérieure est posée en premier.

Liaison Plancher à Prédalles et Voile avec Engravure

Capacités résistantes par unité de longueur (V_{Rd} et $V_{Rd,H}$ en kN/m et M_{Rd} en kN.m/m)



Banche Intérieure posée en premier



Banche Extérieure posée en premier

Lecture des tableaux

Banche Intérieure posée en premier

h_t mm	d_{at} mm	h_{at} mm
170 ^[1] à 190	85	60

Capacités résistantes	M_{Rd} (kN.m/m)
$M_{Rd} =$	10 15 20 25
$V_{Rd} =$	12,6 15,0 19,9 23,0
$V_{Rd,H} =$	70,2 70,2 194 146

M_{Rd} (kN.m/m) : moment résistant négatif devant être supérieur au moment forfaitaire sur appui de **0,15 Mt**
la capacité résistante M_{Rd} peut également être lue sur l'échelle graduée à l'extrémité de la cellule considérée

V_{Rd} (kN/m) : effort tranchant résistant admissible de la boîte sous combinaison "fondamentale"

$V_{Rd,H}$ (kN/m) : effort tranchant résistant admissible de la boîte sous combinaison accidentelle "sismique", borné à la capacité résistante $V_{Rd,c}$ de la dalle en zone courante, dans l'hypothèse de la plus faible épaisseur pour la plage considérée (par exemple 17 cm dans l'exemple ci-contre). Lorsque cette condition est limitative, la valeur de $V_{Rd,H}$ est encadrée (par exemple [196]). Dans le cas de dalle d'épaisseur supérieure à l'épaisseur minimale, la capacité résistante peut être lue dans le tableau 2 ci-dessous (on retiendrait dans l'exemple précédent 207 kN/m pour une dalle de 18 cm d'épaisseur).

Définition du plancher

Couleur Caractéristiques de l'attente

⇒ ici : $\phi 8$, espacement 240 mm

ϕ attentes	$\phi 8$			$\phi 10$	
Espacement	240 mm	200 mm	150 mm	200 mm	150 mm
Code couleur					

h_t	170 mm	180 mm	190 mm	200 mm	210 mm	220 mm	230 mm	240 mm	250 mm
$V_{Rd,c}$	196 kN/m	207 kN/m	219 kN/m	230 kN/m	242 kN/m	253 kN/m	265 kN/m	276 kN/m	288 kN/m

Tableau 2 - Capacité résistante au cisaillement horizontal d'une dalle non armée transversalement

Liaison Plancher à Prédalles et Voile avec Engravure

Capacités résistantes par unité de longueur (V_{Rd} et $V_{Rd,H}$ en kN/m et M_{Rd} en kN.m/m)

Classe d'Exposition : **XC1**

Légende :

ϕ attentes	$\phi 8$			$\phi 10$	
Espacement	240 mm	200 mm	150 mm	200 mm	150 mm
Code couleur					

Banche Intérieure posée en premier

h_t <i>mm</i>	d_{at} <i>mm</i>	h_{at} <i>mm</i>	Capacités résistantes	M_{Rd} (<i>kN.m/m</i>)							
					10	15	20	25	30	35	40
170 ^[1] à 190	85	60	M_{Rd} =		12,6	15,0	19,9	23,0	30,3		
			V_{Rd} =		70,2	70,2	70,2	69,0	69,0		
			$V_{Rd,H}$ =		122	146	194	[196]	[196]		
200 à 210	85	80	M_{Rd} =		14,4	17,2	22,8	26,4	34,9		
			V_{Rd} =		91,1	93,2	93,2	92,0	92,0		
			$V_{Rd,H}$ =		123	147	194	227	[230]		
220 à 250	85	100	M_{Rd} =		16,2	19,4	25,7	29,9	39,4		
			V_{Rd} =		91,1	109,3	116,2	115,0	115,0		
			$V_{Rd,H}$ =		123	147	195	228	[253]		

Banche Extérieure posée en premier

h_t <i>mm</i>	d_{at} <i>mm</i>	h_{at} <i>mm</i>	Capacités résistantes	M_{Rd} (kN.m/m)									
					10	15	20	25	30	35	40		
180 à 190	95	50	$M_{Rd} =$ $V_{Rd} =$ $V_{Rd,H} =$	11,2 58,7 122	13,4 58,7 146	17,7 58,7 194							
200 à 210	95	60	$M_{Rd} =$ $V_{Rd} =$ $V_{Rd,H} =$	12,1 70,2 122	14,5 70,2 146	19,2 70,2 194	22,2 69,0 227	29,2 69,0 [230]					
220 à 230	95	80	$M_{Rd} =$ $V_{Rd} =$ $V_{Rd,H} =$	14,0 91,1 123	16,7 93,2 147	22,1 93,2 194	25,6 92,0 227	33,7 92,0 [253]					
240 à 250	95	100	$M_{Rd} =$ $V_{Rd} =$ $V_{Rd,H} =$	15,8 91,1 123	18,9 109,3 147	25,0 116,2 195	29,0 115,0 228	38,3 115,0 [276]					

^[1] dans le cas des planchers de 17 cm d'épaisseur, l'épaisseur des prédalles est limitée à 5 cm (cf. Tableau 1 - Compatibilité géométrique).

Liaison Plancher à Prédalles et Voile avec Engravure

Capacités résistantes par unité de longueur (V_{Rd} et $V_{Rd,H}$ en kN/m et M_{Rd} en kN.m/m)

Classe d'Exposition : **XC2/XC3**

Légende :

ϕ attentes	$\phi 8$			$\phi 10$	
Espacement	240 mm	200 mm	150 mm	200 mm	150 mm
Code couleur					

Banche Intérieure posée en premier

h_t <i>mm</i>	d_{at} <i>mm</i>	h_{at} <i>mm</i>	Capacités résistantes	M_{Rd} (<i>kN.m/m</i>)						
				10	15	20	25	30	35	40
180 à 200	85	60	$M_{Rd} =$	12,6	15,0	19,9	23,0	30,3		
			$V_{Rd} =$	70,2	70,2	70,2	69,0	69,0		
			$V_{Rd,H} =$	122	146	194	[207]	[207]		
210 à 220	85	80	$M_{Rd} =$	14,4	17,2	22,8	26,4	34,9		
			$V_{Rd} =$	91,1	93,2	93,2	92,0	92,0		
			$V_{Rd,H} =$	123	147	194	227	[242]		
230 à 250	85	100	$M_{Rd} =$	16,2	19,4	25,7	29,9	39,4		
			$V_{Rd} =$	91,1	109,3	116,2	115,0	115,0		
			$V_{Rd,H} =$	123	147	195	228	[265]		

Banche Extérieure posée en premier

h_t <i>mm</i>	d_{at} <i>mm</i>	h_{at} <i>mm</i>	Capacités résistantes	M_{Rd} (kN.m/m)									

Chapitre 2 Détail des vérifications et exemples hors séisme

2.1 Termes et définitions

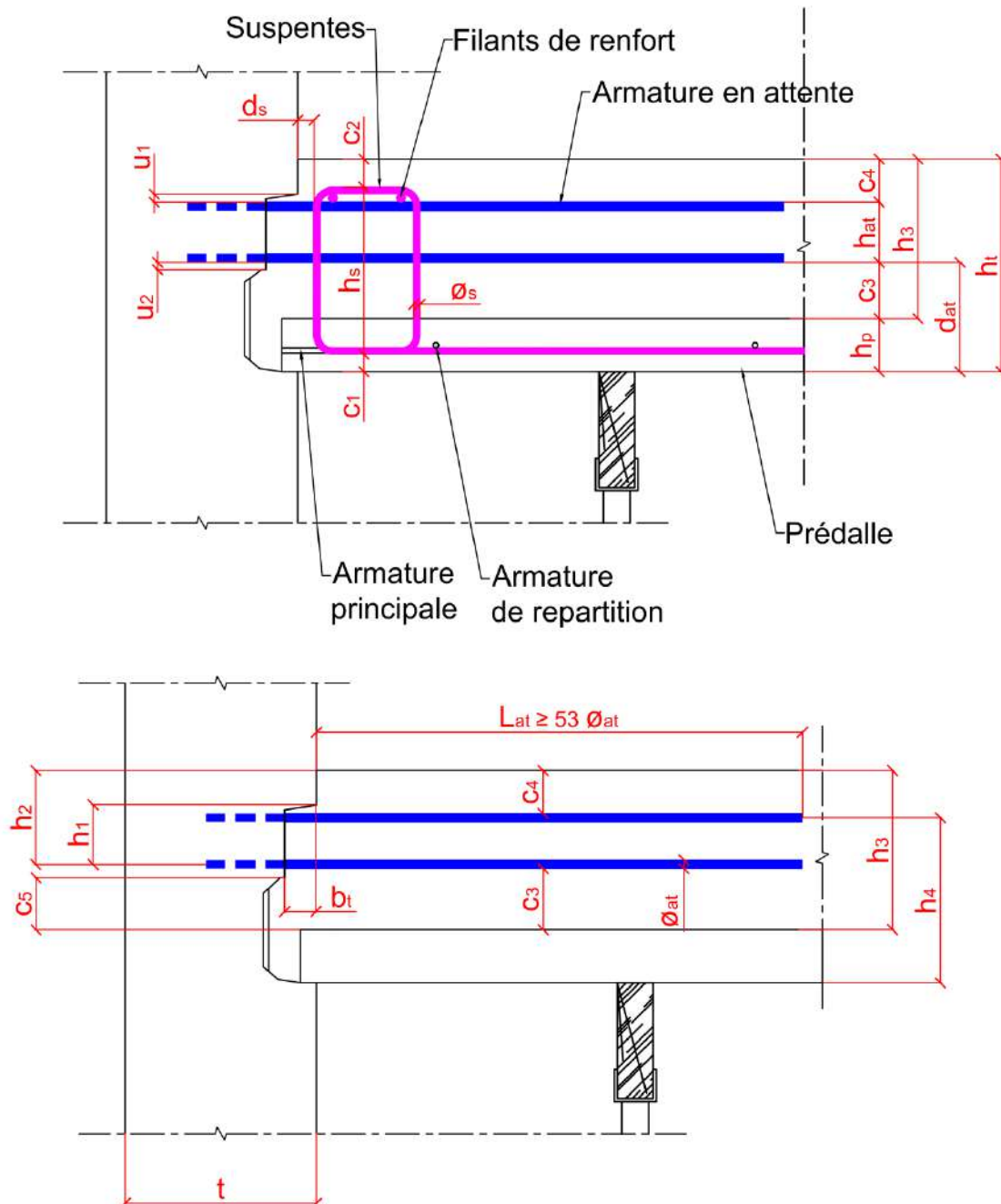


Figure 3 – Schémas des symboles utilisés

ϕ_s	diamètre de la suspente
$h_{s,p}$	encombrement vertical de la suspente pré-pliée
h_s	encombrement vertical de la suspente après redressage
d_s	distance nominale du nu extérieur de la suspente au nu intérieur du support : • $d_s = 20$ mm dans le cas de prédalle suspendue d'un seul côté ; • $d_s = 35$ mm dans le cas de prédalle suspendue des deux côtés.
$d_{s,max}$	valeur maximale admissible de la distance d_s : • $d_{s,max} = 45$ mm dans le cas de prédalle suspendue d'un seul côté ; • $d_{s,max} = 65$ mm dans le cas de prédalle suspendue des deux côtés.
s_t	espacement des suspentes
b_t	distance horizontale entre le nu intérieur du voile et le point critique pour le passage du béton
s_{at}	espacement des armatures de la boîte d'attente
ϕ_{at}	diamètre des armatures de la boîte d'attente
$A_{at,inf}$	section par mètre des armatures inférieures de la boîte d'attente
d_{at}	distance nominale entre la face inférieure de la prédalle et l'armature inférieure en attente
Δd_{at}	tolérance sur la dimension d_{at} (tolérance sur la position relative de la boîte d'attente par rapport à la sous face de la dalle)
h_{at}	hauteur d'encombrement des attentes, égale à la distance verticale hors tout entre les brins du lit inférieur et du lit supérieur
u_1	distance verticale entre les brins supérieurs des attentes et la partie supérieure de la boîte
u_2	distance verticale entre les brins inférieurs des attentes et le point critique pour le passage du béton
L_{at}	longueur de dépassement des armatures de la boîte d'attente par rapport au nu intérieur du support
h_t	épaisseur totale du plancher
h_p	épaisseur nominale de la prédalle en zone d'about, au droit de la suspente
c_{min}	enrobage minimal requis sur la face supérieure du plancher en fonction de la classe d'exposition (cf. article 4.4.1 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale)
Δc_{dev}	tolérance d'exécution sur l'enrobage des armatures
c_1	enrobage nominal de la suspente par rapport à la fibre inférieure de la prédalle
c_2	enrobage nominal du retour horizontal supérieur de la suspente
c_3	enrobage nominal des armatures inférieures de la boîte d'attente par rapport à la fibre supérieure de la prédalle
$c_{3,min}$	valeur minimale de c_3 permettant de respecter les critères géométriques
c_4	enrobage nominal de l'armature supérieure de la boîte d'attente par rapport à la fibre supérieure du plancher
c_5	distance verticale entre l'arête supérieure de l'engravure (point critique pour le passage du béton) et la face supérieure de la prédalle en zone d'about
$c_{5,min}$	distance minimale c_5 permettant le bétonnage correct de l'engravure
e_b	largeur de la bielle
banche intérieure	banche située côté plancher et équipée du dispositif LPPVE
banche extérieure	banche en vis-à-vis de la «banche intérieure»

2.2 Prescriptions géométriques

2.2.1 Dispositions communes

Selon le type de pose, la valeur de Δd_{at} est prise égal à :

- 0 mm lorsque la banche intérieure est posée en premier ;
- 15 mm lorsque la banche extérieure est posée en premier.

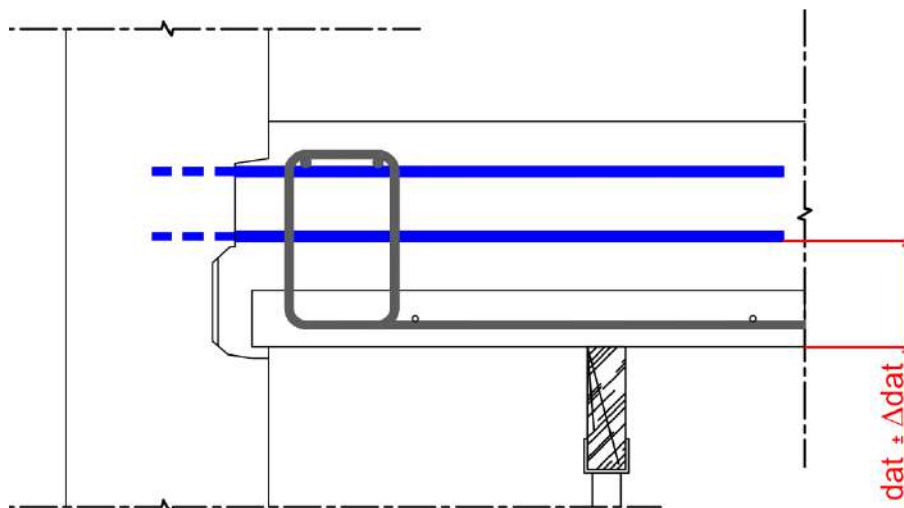


Figure 4 – Tolérance de positionnement vertical de la boîte d'attente par rapport au plancher

L'enrobage $c_{3,min}$ des brins inférieurs de la boîte d'attente par rapport à la surface de la prédalle doit être suffisant pour permettre de redresser horizontalement les attentes au-dessus de la suspente pré-pliée :

- compte-tenu de l'encombrement $h_{s,p}$ de cette dernière et de son enrobage c_1 dans la prédalle ;
- et compte-tenu du dépassement nécessaire de la suspente, au moins égal à $3 \phi_s$, pour autoriser le redressage sans baïonnette.

$$c_{3,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_1 + h_{s,p} - h_p \\ 3 \phi_s \end{array} \right.$$

L'enrobage d_{at} des brins inférieurs des attentes est déduit de l'enrobage minimal $c_{3,min}$ augmenté de la tolérance de positionnement Δd_{at} . La distance verticale entre l'arête supérieure de l'engravure qui est, suivant le schéma de la Figure 6, le point critique pour le passage du béton et la surface de la prédalle est au moins égale à $c_{5,min}$. La valeur de d_{at} est déduite en prenant en compte le décalage u_2 .

$$d_{at} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} h_p + c_{3,min} + \Delta d_{at} \\ h_p + c_{5,min} + u_2 \end{array} \right.$$

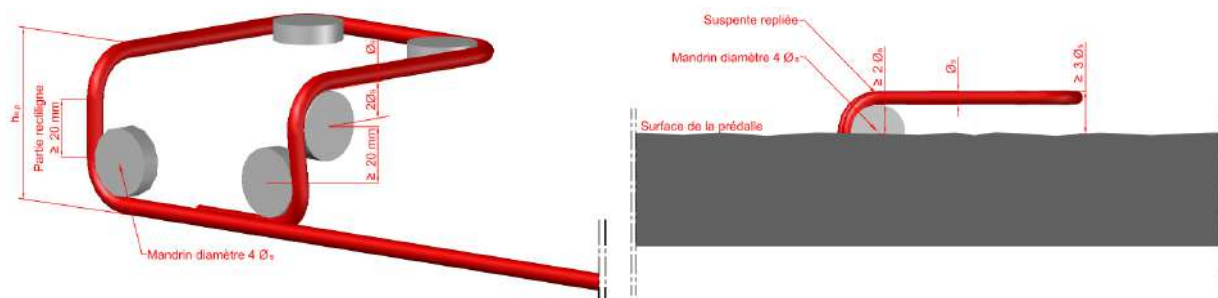


Figure 5 – Façonnage des suspentes pré-pliées

La distance verticale c_5 entre le dessus de la prédalle et le haut de l'engravure doit permettre le passage du béton en about de prédalle. Il lui correspond une distance nominale d_c , telle qu'illustrée sur la Figure 6. Les valeurs de $c_{5,min}$ et de d_c sont données dans le tableau ci-dessous en fonction du mode de pose retenu.

Dimension	banche intérieure posée en premier	banche extérieure posée en premier
$c_{5,min}$	25 mm	35 mm
d_c	32 mm	40 mm

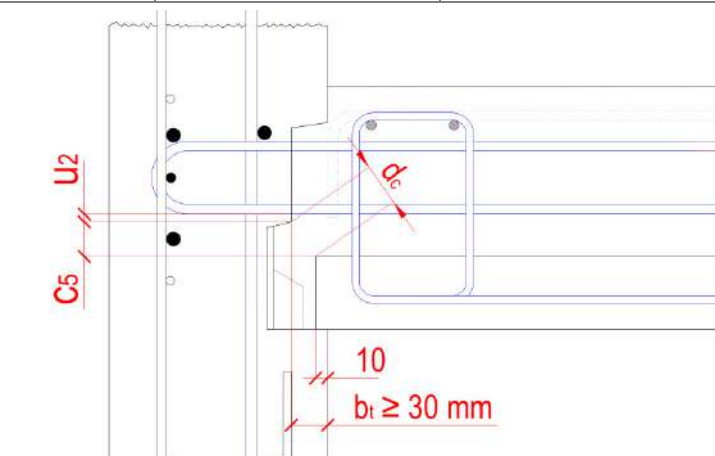


Figure 6 – Détail au droit de l'engravure

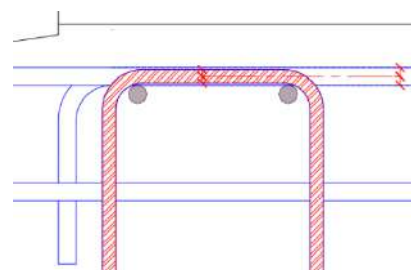
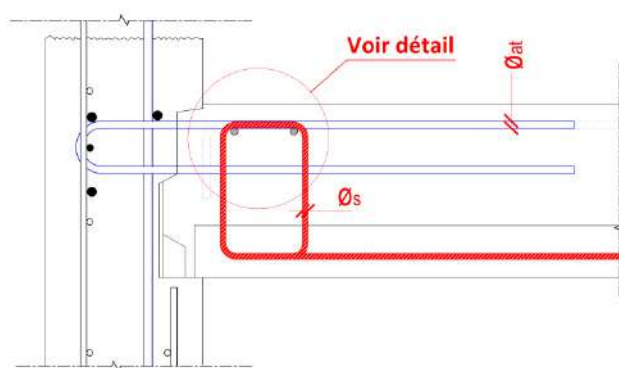
L'enrobage nominal de la suspente et du brin supérieur de la boîte d'attente doivent être compatibles avec la classe d'exposition considérée :

$$c_2 \geq c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_4 \geq c_{min} + \Delta c_{dev}$$

La position relative de la suspente et de la boîte d'attente est telle que l'axe du brin supérieur de l'attente ne se situe pas au-dessus de l'axe de la suspente (cf. Figure 7) :

$$c_4 \geq c_2 + \frac{\phi_s - \phi_{at}}{2} + \Delta d_{at}$$



Détail

Figure 7 – Position limite (au plus haut) de la boîte d'attente

La hauteur de l'armature de boîte d'attente h_{at} doit respecter la condition suivante :

$$h_{at} \leq h_t - d_{at} - c_4$$

2.2.2 Prescriptions complémentaires dans le cas de fonctionnement avec armatures d'effort tranchant

Conformément au 9.3.2 de la NF EN 1992-1-1, l'épaisseur totale du plancher doit être supérieure ou égale à 20 cm.

Note : La solution AVEC armatures d'effort tranchant peut être utilisée lorsque la capacité résistante à l'effort tranchant par le béton seul, telle que définie au chapitre 2.3, est insuffisante.

En complément des exigences définies au chapitre 2.2.1 ci-avant, pour justifier d'un fonctionnement avec armatures d'effort tranchant, avec les notations de la Figure 8 il faut vérifier l'inégalité : $b \geq a$.

Les vérifications sont réalisées en considérant que la boîte d'attente est décalée vers le haut de Δd_{at} par rapport à la sous face du plancher.

La hauteur utile pour les vérifications d'effort tranchant est notée h_{u2} , avec :

$$h_{u2} = h_2 - \Delta d_{at}$$

La membrure horizontale comprimée est appuyée en partie supérieure de la suspente, sa hauteur étant prise égale à 0,25 fois la hauteur utile h_{u2} .

Pour la détermination de a , il est possible de considérer un angle de bielle (noté β sur la Figure 8) de 45° soit :

$$p = 0,25 \times h_{u2}$$

où, p correspond à la projection horizontale de la première bielle sur l'appui.

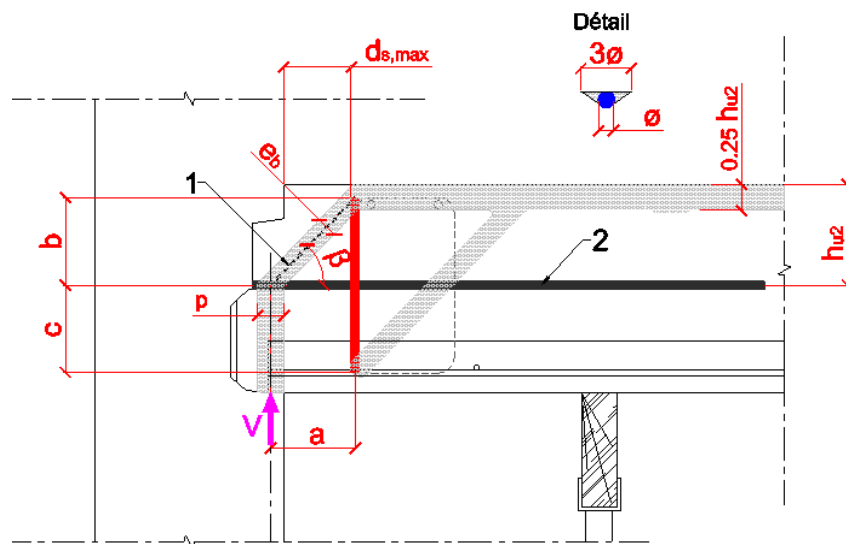
Les valeurs a et b peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

$$a = d_{s,max} + \frac{p}{2} = d_{s,max} + \frac{h_{u2}}{8}$$

avec,

$$h_{u2} = h_t - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at}$$

$$b = c_1 + h_s - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at}$$



Légende :

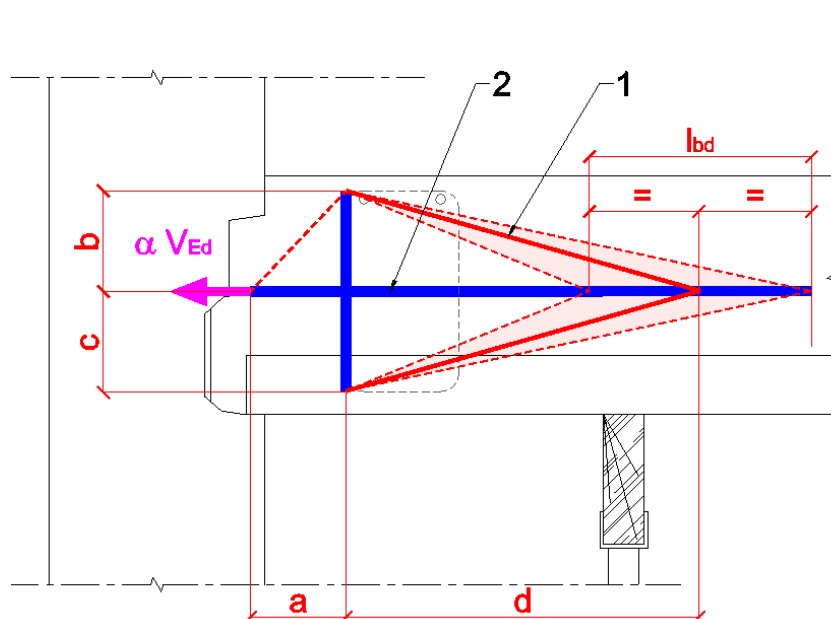
1 : première bielle d'inclinaison β et de largeur e_b

2 : sous-tendeur de la bielle 1

β : angle de bielle par rapport à l'horizontale

p : projection horizontale de la 1^{ère} bielle sur l'appui

Figure 8 – Fonctionnement mécanique – Schéma du treillis à 45°



Légende :

1 : bielle moyenne d'équilibrage du sous tendeur

2 : sous tendeur

Figure 9 – Fonctionnement mécanique – Schéma d'ancrage du sous tendeur de la première bielle

Note :

La valeur de a peut être explicitée et prise égale à :

$$a = 45\text{mm} + \frac{h_{u2}}{8}, \text{ dans le cas de prédalles suspendues d'un côté ;}$$

$$a = 65\text{mm} + \frac{h_{u2}}{8}, \text{ dans le cas de prédalles suspendues des deux côtés.}$$

2.3 Dimensionnement sans armature d'effort tranchant

Le brin vertical de la suspente situé au plus près du support est dimensionné pour équilibrer un effort correspondant à la réaction d'appui.

2.3.1 Armatures inférieures de la boîte d'attente

Les vérifications d'effort tranchant, d'ancrage et de flexion sous moment positif sont réalisées en considérant que la boîte d'attente est décalée vers le haut de Δd_{at} par rapport à la sous face du plancher.

L'effort tranchant résistant (en kN/m) est déterminé par la formule suivante :

$$V_{Rd} = 0.23 \sqrt{f_{ck}} h_{u1}$$

avec :

f_{ck} la résistance caractéristique à la compression du béton coulé en place, en MPa ;

$$h_{u1} = \min(h_1 ; h_2 - \Delta d_{at}) \quad \text{en mm}$$

Les brins inférieurs des attentes sont ancrés pour équilibrer un effort correspondant à la réaction d'appui. La contrainte dans les armatures peut être limitée du fait de la capacité d'ancrage sur la longueur dépassant au-delà du nu d'appui.

Il est vérifié :

$$V_{Ed} \leq A_{at,inf} \sigma_{sd}$$

avec,

$A_{at,inf}$ la section par mètre des armatures inférieures de la boîte d'attente

$$\sigma_{sd} = \beta_1 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$\beta_1 = \min \left\{ \frac{L_{at}}{l_{bd}} ; 1 \right\}$$

l_{bd} représente la longueur d'ancrage de calcul de l'armature soumise à une contrainte égale à $\frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

La vérification du moment de flexion positif est réalisée dans la section droite au nu de la suspente. La hauteur utile à considérer est notée h_{u2} , avec :

$$h_{u2} = h_2 - \Delta d_{at}$$

La valeur du moment sollicitant à considérer est :

$$M_{Ed} = V_{Ed} \left(\frac{\min(t, h_{u2})}{2} + d_s \right)$$

Note : Dans le cas de prédalle suspendue sur un côté, $d_s = 20 \text{ mm}$

Les brins supérieurs des attentes ne sont pas pris en compte comme armatures comprimées.

L'effort dans les brins inférieurs peut être limité par l'ancrage de ces armatures au-delà de la section considérée.

$$\sigma_{sd} = \beta_2 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$\beta_2 = \min \left\{ \frac{(L_{at} - d_s)}{l_{bd}} ; 1 \right\}$$

Il est admis, pour cette vérification, de prendre $\gamma_c = 1,45$. Compte tenu des opérations de pliage / redressage réalisées sur les attentes, une valeur de $\gamma_s = 1,15$ doit être retenue pour ces armatures.

D'autre part, selon la clause 9.3.1.1 (3) de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale, dans le cas courant de charges réparties, l'espacement des brins inférieurs des attentes n'excède pas $3 \cdot h_3$, h_3 étant l'épaisseur de béton coulé en œuvre.

2.3.2 Armatures supérieures de la boîte d'attente

La vérification de la résistance à la flexion sous moment négatif est réalisée en considérant que la boîte d'attente est décalée vers le bas de Δd_{at} par rapport à la sous face du plancher.

Il est nécessaire de vérifier, au nu de l'appui, la reprise d'un moment négatif égal à $0,15 M_t$ par les armatures supérieures, sans considérer les armatures inférieures comme des armatures comprimées. M_t correspondant au moment maximal observé en travée.

La hauteur utile à considérer est notée h_{u4} , avec :

$$h_{u4} = h_4 - \Delta d_{at}$$

Afin de prendre en compte l'aléa de remplissage de l'angle inférieur de l'engravure lors du bétonnage du plancher, il est nécessaire de prendre $\gamma_c = 1,50$ pour le béton coulé sur site. Compte tenu des opérations de pliage / redressage réalisés sur les attentes et les suspentes, une valeur de $\gamma_s = 1,15$ doit être retenue pour ces armatures.

Compte-tenu de la longueur des armatures en attente, la contrainte admissible peut s'avérer inférieure à la capacité maximale :

$$\sigma_{sd} = \beta_3 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Pour la détermination de β_3 , il est distingué les 2 cas suivants :

1° cas :

L'armature présente une longueur suffisante pour assurer la couverture des moments négatifs (à partir du tracé local de la courbe enveloppe décalée).

Note : En l'absence de justification particulière, il est possible de considérer que la longueur de l'armature est suffisante lorsque L_{at} est au moins égale au dixième de la portée.

Le coefficient β_3 est calculé en considérant la capacité d'ancrage au-delà de l'abscisse située au nu d'appui.

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{L_{at}}{l_{bd}} ; 1 \right\}$$

2° cas :

L'armature de longueur insuffisante doit être prolongée par une armature complémentaire mise en recouvrement. Il est fait l'hypothèse que ce recouvrement est réalisé avec des armatures de même diamètre disposées à une distance libre inférieure à 4ϕ ou 50 mm. Ces armatures complémentaires viennent jusqu'au nu de l'appui.

Le coefficient β_3 est calculé en considérant la capacité de transfert d'effort entre les deux armatures, compte tenu de la longueur de recouvrement L_{at}

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{L_{at}}{l_0} ; 1 \right\}$$

l_0 représente la longueur de recouvrement de calcul de l'armature soumise à une contrainte égale à $\frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

2.3.3 Vérification du recouvrement des efforts au travers de la surface de reprise

Le schéma de recouvrement des efforts est représenté dans la Figure 10.

Il est vérifié de manière conventionnelle que l'effort tranchant peut être équilibré à travers la surface de reprise en considérant la surface de profondeur « x ».

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = v_{Rdi} x$$

Ce qui revient à vérifier l'inégalité suivante :

$$V_{Ed} \leq c f_{ctd} x + \mu A_{s,c} f_{yd} 10^{-3}$$

avec,

V_{Ed} , l'effort tranchant sollicitant en kN/m ;

V_{Rd} , l'effort tranchant résistant en kN/m ;

v_{Rdi} , la contrainte de cisaillement (en MPa) admissible telle que définie au 6.2.5 de la NF EN 1992-1-1 ;

x , la longueur de recouvrement (en mm) représentée dans la Figure 10 ;

f_{ctd} , la résistance de calcul en traction du béton coulé en place (en MPa) ;

c et μ , les coefficients dépendant de la rugosité de la surface de la prédalle ;

$A_{s,c}$, la section d'armature ancrée de part et d'autre du plan de reprise (en mm²) disposées par mètre linéaire d'appui et sur la profondeur x

f_{yd} , la contrainte de calcul (en MPa) des armatures $A_{s,c}$.

Commentaire :

Dans cette vérification, pour le calcul de la section d'armatures $A_{s,c}$ traversant l'interface, il est considéré les deux brins de la suspente ainsi que la section des armatures de couture situées dans la zone de largeur « x ».

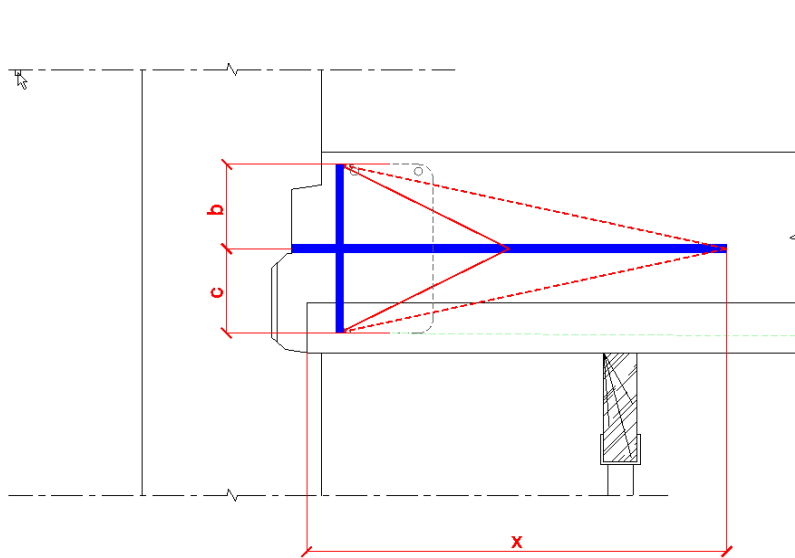


Figure 10 – Schéma de recouvrement des efforts

2.4 Dimensionnement avec armatures d'effort tranchant

Dans ce schéma de stabilité, les suspentes assurent le relevage de l'effort tranchant en partie supérieure de la bielle d'about.

Le relevage de la charge doit être réalisé en totalité par le seul brin vertical proche de l'extrémité de la prédalle. En se plaçant dans la situation des Figure 8 et Figure 9, il convient d'envisager pour le dimensionnement mécanique du nœud, un schéma de type treillis, en vérifiant :

- une géométrie de bielle d'inclinaison $\beta \geq 45^\circ$;
- l'ancrage du sous tendeur de cette première bielle ;
- la compression dans les bielles associées.

Dans le plan longitudinal, la largeur e_b de la première bielle se déduit de la hauteur possible de la membrure comprimée par la formule suivante :

$$e_b = 0.25 h_{u2} / \sqrt{2}$$

Dans le plan transversal, la largeur de cette première bielle est prise égale à 3 fois le diamètre ϕ des armatures inférieures des attentes et des suspentes.

L'effort dans cette bielle est limité à :

$$3 f_{cd} e_b \geq 3 \phi$$

Note : Le terme $3 f_{cd}$ correspond à la prise en compte du confinement et le terme 3ϕ à la prise en compte de la diffusion (voir détail sur la Figure 8).

Compte tenu de la prise en compte des tolérances dans le calcul, il est admis, pour cette vérification, conformément à l'Annexe A de la NF EN 1992-1-1, de prendre $\gamma_c = 1,45$ au lieu de $\gamma_c = 1,50$.

Lorsque la distance c est inférieure ou égale à 50 mm, en tenant compte des écarts possibles du fait des tolérances, il convient de ne considérer que le schéma de fonctionnement de la Figure 8. Il est admis alors que le passage des forces entre les armatures inférieures tendues se fait par la règle des recouvrements d'armatures, ce qui conduit à ménager un dépassement suffisant pour assurer la longueur de recouvrement. Le brin vertical de la suspente situé au plus près du support est dimensionné pour équilibrer un effort correspondant à la réaction d'appui.

Lorsque la distance c est supérieure à 50 mm, l'effort dans la suspente, déterminé à partir du schéma de la Figure 11, intégrant l'effort induit par l'équilibre des bielles du sous tendeur, est égal à λV_{Ed} , avec :

$$\lambda = 1 + \frac{a c}{d(b + c)}$$

La Figure 11 illustre les efforts dans les tirants dans ce schéma d'équilibre.

Il est considéré conventionnellement dans ce schéma que la bielle moyenne s'appuie sur le sous-tendeur, à une distance $\frac{l_{bd}}{2}$ de l'extrémité des armatures inférieures de la boîte d'attente (voir Figure 9).

Note : l_{bd} représente la longueur d'ancrage de calcul de l'armature soumise à une contrainte égale à $\frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

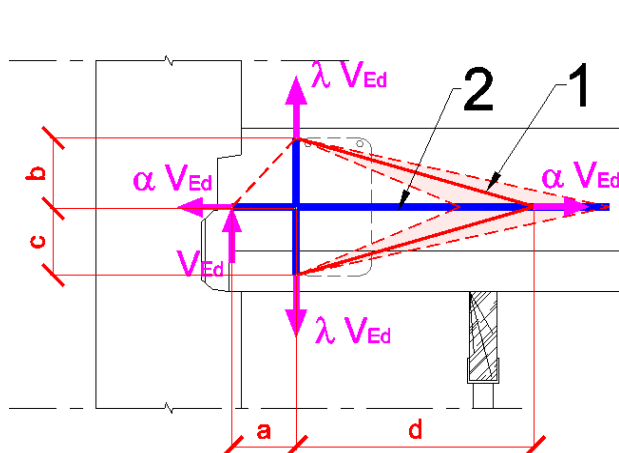
Les brins inférieurs des attentes sont ancrés pour équilibrer la composante horizontale de la première bielle d'appui.

$$V_{Ed} \leq \frac{A_{at,inf} \sigma_{sd}}{\alpha}$$

avec, $\alpha = \frac{a}{b}$

Note : Pour une bielle d'inclinaison $\beta = 45^\circ$, cet effort correspond à la réaction d'appui.

En application de la clause 9.3.1.1 (3) de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale, dans le cas courant de charges réparties, l'espacement des brins inférieurs des attentes n'excède pas $3 \cdot h_3$, h_3 étant l'épaisseur de béton coulé en œuvre.



Légende :

1 : bielle moyenne d'équilibrage du sous tendeur

2 : sous tendeur

Figure 11 – Représentation schématique des efforts dans les tirants

Ce qui revient à vérifier :

$$V_{Ed} \leq \begin{cases} \frac{\pi \phi_s^2 f_{yd}}{4 \lambda s_t} \\ 9 f_{cd} e_b \sin \beta \min \left(\frac{\phi_{at}}{s_{at}}; \frac{\phi_s}{s_t} \right) \end{cases}$$

Note : l'effort tranchant V_{Ed} est donné en kN/m, les dimensions étant mm et les contraintes en MPa.

En application de la clause 9.3.2 (5) de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale, l'espacement des suspentes, dont le brin vertical le plus proche de l'appui joue le rôle d'armature d'effort tranchant, ne doit pas dépasser 1,5 fois la hauteur utile h_2 .

Le dimensionnement des armatures supérieures est réalisé comme indiqué au chapitre 2.3.2.

2.5 Exemple d'application

2.5.1 Hypothèses générales

Dans cet exemple, il est considéré le cas d'un plancher dans un bâtiment à usage de bureaux en classe d'exposition XC1.

La travée de rive est suspendue sur le voile de façade d'épaisseur 18 cm .

La surface de la prédalle est rugueuse au sens de 6.2.5 de la NF EN 1992-1-1.

La suspente est façonnée sous forme de cadre et est pré-pliée avant bétonnage de la prédalle.

Portée utile (en continuité sur l'appui intermédiaire) :	$L_{eff} = 6,80 \text{ m}$
épaisseur de la dalle :	$h_t = 200 \text{ mm}$
épaisseur de la prédalle :	$h_p = 60 \text{ mm}$
béton coulé en place de classe C25/30 :	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
charges permanentes (hors poids propre) :	$S_f = 1,50 \text{ kN/m}^2$
surcharges d'exploitation :	$Q = 2,50 \text{ kN/m}^2$
diamètre des suspentes :	$\phi_s = 6 \text{ mm}$
enrobage inférieur des suspentes :	$c_1 = 20 \text{ mm}$
encombrement vertical de la suspente pré-pliée :	$h_{sp} = 6 \phi_s + 20 = 56 \text{ mm}$
encombrement vertical de la suspente après redressage :	$h_s = 160 \text{ mm}$
diamètre des attentes :	$\phi_{at} = 8 \text{ mm}$
longueur dépassante des attentes :	$L_{at} = 420 \text{ mm}$
distance verticale entre les brins supérieurs des attentes et la partie supérieure de la boîte:	$u_1 = 5 \text{ mm}$
distance verticale entre les brins inférieurs des attentes et le point critique pour le passage du béton:	$u_2 = 0 \text{ mm}$

2.5.2 Calcul des sollicitations

Charge à l'ELU :

$$p_{ELU} = 1,35 \times (4,80 + 1,50) + 1,50 \times 2,50 = 12,255 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{Ed,iso} = p_{ELU} \frac{L_{eff}^2}{8} = 70,8 \text{ kN.m/m}$$

Considérant que le moment sur l'appui de continuité, dans le schéma chargé-déchargé, correspond à 0,50 $M_{Ed,iso}$, les sollicitations suivantes sont obtenues :

Moment maximal en travée :

$$M_{Ed,t} = 54,24 \text{ kN.m/m à l'abscisse } x_{max} = 2,98 \text{ m}$$

Moment forfaitaire à équilibrer sur appui d'extrémité (la longueur des armatures de la boîte étant insuffisante, des armatures supérieures sont mises en recouvrement):

$$0,15 M_{Ed,t} = 8,14 \text{ kN.m/m}$$

Effort tranchant maximal sur appui d'extrémité :

$$V_{Ed} = p_{ELU} \frac{L_{eff}}{2} - \frac{0,50 M_{Ed,iso}}{L_{eff}} = 36,5 \text{ kN/m}$$

2.5.3 Prescriptions géométriques

Dans la suite, il est mis en parallèle le cas de la banche intérieure posée en premier et le cas de la banche extérieure posée en premier.

Paramètre	Banche intérieure posée en premier	Banche extérieure posée en premier
Prescriptions communes (§ 2.2.1)		
$c_{3,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_1 + h_{s,p} - h_p \\ 3 \phi_s \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} c_1 + h_{s,p} - h_p = 20 + 56 - 60 = 16 \text{ mm} \\ 3 \phi_s = 3 \times 6 = 18 \text{ mm} \end{array} \right\} c_{3,min} = 18 \text{ mm}$	$c_{3,min} = 18 \text{ mm}$
$c_{5,min} =$	25 mm	35 mm
$d_{at} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} h_p + c_{3,min} + \Delta d_{at} \\ h_p + c_{5,min} + u_2 \end{array} \right\}$	$d_{at} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 60 + 18 + 0 = 78 \text{ mm} \\ 60 + 25 + 0 = 85 \text{ mm} \end{array} \right\} = 85 \text{ mm}$	$d_{at} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 60 + 18 + 15 = 93 \text{ mm} \\ 60 + 35 + 0 = 95 \text{ mm} \end{array} \right\} = 95 \text{ mm}$
position retenue	$d_{at} = 85 \text{ mm}$	$d_{at} = 95 \text{ mm}$
$c_2 \geq c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_2 \geq (10 + 10 = 20 \text{ mm})$	
$h_s \leq h_t - c_1 - c_2$	$h_s \leq (200 - 20 - 20 = 160 \text{ mm}) \rightarrow$ condition vérifiée	
$c_4 \geq \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min} + \Delta c_{dev} \\ c_2 + \frac{\phi_s - \phi_{at}}{2} + \Delta d_{at} \end{array} \right\}$	$c_4 \geq \max \left\{ \begin{array}{l} (10 + 10 = 20 \text{ mm}) \\ \left(20 + \frac{6 - 8}{2} + 0 = 19 \text{ mm} \right) \end{array} \right\} = 20 \text{ mm}$	$c_4 \geq \max \left\{ \begin{array}{l} (10 + 10 = 20 \text{ mm}) \\ \left(20 + \frac{6 - 8}{2} + 15 = 34 \text{ mm} \right) \end{array} \right\} = 34 \text{ mm}$
$h_{at} \leq h_t - d_{at} - c_4$	$h_{at} \leq (200 - 85 - 20 = 95 \text{ mm})$	$h_{at} \leq (200 - 95 - 34 = 71 \text{ mm})$
hauteur retenue	$h_{at} = 80 \text{ mm}$	$h_{at} = 60 \text{ mm}$
Prescriptions complémentaires pour le fonctionnement avec armatures d'effort tranchant (§ 2.2.2)		
$h_2 = h_t - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2}$	$h_2 = 200 - 85 - \frac{8}{2} = 111 \text{ mm}$	$h_2 = 200 - 95 - \frac{8}{2} = 101 \text{ mm}$
$h_{u2} = h_2 - \Delta d_{at}$	$h_{u2} = 111 - 0 = 111 \text{ mm}$	$h_{u2} = 101 - 15 = 86 \text{ mm}$
$a = d_{s,max} + \frac{h_{u2}}{8}$	$a = 45 + \frac{111}{8} \cong 59 \text{ mm}$	$a = 45 + \frac{86}{8} \cong 56 \text{ mm}$
$b = c_1 + h_s - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at}$	$b = 20 + 160 - 85 - \frac{8}{2} - 0 = 91 \text{ mm}$	$b = 20 + 160 - 95 - \frac{8}{2} - 15 = 66 \text{ mm}$
critère $b > a$	Satisfait	Satisfait

2.5.4 Dimensionnement sans armatures d'effort tranchant

Paramètre	Banche intérieure posée en premier	Banche extérieure posée en premier
Effort tranchant résistant (§ 2.3.1)		
$h_1 = h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} + u_1$	$h_1 = 80 - \frac{8}{2} + 5 = 81 \text{ mm}$	$h_1 = 60 - \frac{8}{2} + 5 = 61 \text{ mm}$
$h_{u1} = \min(h_1 ; h_2 - \Delta d_{at})$	$h_{u1} = \min(81 ; 111 - 0) = 81 \text{ mm}$	$h_{u1} = \min(61 ; 101 - 15) = 61 \text{ mm}$
$V_{Rd} = 0.23 \sqrt{f_{ck}} h_{u1}$	$V_{Rd} = 0.23 \times \sqrt{25} \times 81 = 93,15 \text{ kN/m}$	$V_{Rd} = 0.23 \times \sqrt{25} \times 61 = 70,15 \text{ kN/m}$
Détermination de la section d'armatures inférieures de la boîte d'attente (§ 2.3.1)		
➤ Ancrage sur appui d'extrémité		
$l_{bd} [\phi 8 ; \sigma_{sd} = 435 \text{ MPa}]$	226 mm	
$\beta_1 = \text{Min} \left\{ \frac{L_{at}}{l_{bd}} ; 1 \right\}$	$\beta_1 = \text{Min} \left\{ \frac{420}{226} ; 1 \right\} = 1$	
$\sigma_{sd} = \beta_1 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	$\sigma_{sd} = 1,0 \times \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$	
$A_{at,inf} \geq \frac{V_{Ed}}{\sigma_{sd}}$	$A_{at,inf} \geq \frac{36,5 \times 10^3}{435} = 83,9 \text{ mm}^2/\text{m}$	
➤ Equilibre du moment positif au droit de la suspente		
$M_{Ed} = V_{Ed} \left(\frac{\min(t, h_{u2})}{2} + d_s \right)$	$M_{Ed} = 36,5 \times \left(\frac{\min(180, 111)}{2} + 20 \right) \times 10^{-3}$ $= 2,76 \text{ kN.m/m}$	$M_{Ed} = 36,5 \times \left(\frac{\min(180, 86)}{2} + 20 \right) \times 10^{-3}$ $= 2,30 \text{ kN.m/m}$
$\beta_2 = \text{Min} \left\{ \frac{L_{at} - d_s}{l_{bd}} ; 1 \right\}$	$\beta_2 = \text{Min} \left\{ \frac{420 - 20}{226} ; 1 \right\} = 1$	
$\sigma_{sd} = \beta_2 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	$\sigma_{sd} = 1,0 \times \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$	
$A_{at,inf} \geq \frac{M_{Ed}}{0,9 h_{u2} \sigma_{sd}}$	$A_{at,inf} \geq \frac{2,76 \times 10^3}{0,9 \times 0,111 \times 435} = 63,5 \text{ mm}^2/\text{m}$	$A_{at,inf} \geq \frac{2,30 \times 10^3}{0,9 \times 0,086 \times 435} = 68,3 \text{ mm}^2/\text{m}$
$s_t \leq 3 h_3$	$s_t \leq 3 \times (200 - 60) = 420 \text{ mm}$	

Détermination de la section d'armatures supérieures de la boîte d'attente (§ 2.3.2)		
$h_4 = d_{at} + h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2}$	$h_4 = 85 + 80 - \frac{8}{2} = 161 \text{ mm}$	$h_4 = 95 + 60 - \frac{8}{2} = 151 \text{ mm}$
$h_{u4} = h_4 - \Delta d_{at}$	$h_{u4} = 161 - 0 = 161 \text{ mm}$	$h_{u4} = 151 - 15 = 136 \text{ mm}$
$l_0 [\phi 8 ; \sigma_{sd} = 435 \text{ MPa}]$	339 mm	
$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{L_{at}}{l_0}; 1 \right\}$	$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{420}{339}; 1 \right\} = 1$	
$\sigma_{sd} = \beta_3 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	$\sigma_{sd} = 1,0 \times \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$	
$A_{at,sup} \geq \frac{0,15 M_{Ed,t}}{0,9 h_{u4} \sigma_{sd}}$	$A_{at,sup} \geq \frac{8,14 \times 10^3}{0,9 \times 0,161 \times 435} = 129,1 \text{ mm}^2/\text{m}$	$A_{at,sup} \geq \frac{8,14 \times 10^3}{0,9 \times 0,136 \times 435} = 152,9 \text{ mm}^2/\text{m}$
Disposition retenue pour la boîte d'attente	HA8 B500B $s_t = 240 \text{ mm}$ $A_{at,sup} = A_{at,inf} = 209 \text{ mm}^2/\text{m}$	
Définition de la suspente :		
$A_s \geq \frac{V_{Ed}}{\sigma_{sd}}$	$A_s \geq \frac{36,5 \times 10^3}{435} = 83,9 \text{ mm}^2/\text{m}$	
Disposition retenue pour les suspentes	HA6 B500B $s_t = 250 \text{ mm}$ $A_s = 113 \text{ mm}^2/\text{m}$	
Vérification du recouvrement des efforts au travers de la surface de reprise (§ 2.3.3)		
$V_{Ed} \leq c f_{ctd} x + \mu A_{s,c} f_{yd} 10^{-3}$	$V_{Ed} \leq \left(0,40 \times \frac{1,80}{1,50} (420 + 10) + 0,70 \times 2 \times 113 \times 435 10^{-3} = 275 \text{ kN/m} \right)$	

2.5.5 Dimensionnement avec armatures d'effort tranchant

Paramètre	Banche intérieure posée en premier	Banche extérieure posée en premier
Vérification de la capacité résistante (§ 2.4)		
$\alpha = \frac{a}{b}$	$\alpha = \frac{59}{91} = 0,65$	$\alpha = \frac{56}{66} = 0,85$
$V_{Ed} \leq \frac{A_{at,inf} \sigma_{sd}}{\alpha}$	$V_{Ed} \leq \left(\frac{209 \times 435 \times 10^{-3}}{0,65} = 140 \text{ kN/m} \right)$	$V_{Ed} \leq \left(\frac{209 \times 435 \times 10^{-3}}{0,85} = 107 \text{ kN/m} \right)$
$c = h_s - b$	$c = 160 - 91 = 69 \text{ mm}$	$c = 160 - 66 = 94 \text{ mm}$
$d = L_{at} - d_s - \frac{\phi_s}{2} - \frac{l_{bd}}{2}$	$d = 420 - 20 - \frac{6}{2} - \frac{226}{2} = 284 \text{ mm}$	
$\lambda = 1 + \frac{a c}{d(b + c)}$	$\lambda = 1 + \frac{59 \times 69}{284 \times (91 + 69)} = 1,09$	$\lambda = 1 + \frac{56 \times 94}{284 \times (66 + 94)} = 1,12$
$V_{Ed} \leq \frac{\pi \phi_s^2 f_{yd}}{4 \lambda s_t}$	$V_{Ed} \leq \left(\frac{\pi \times 6^2 \times 435}{4 \times 1,09 \times 250} = 45,1 \text{ kN/m} \right)$	$V_{Ed} \leq \left(\frac{\pi \times 6^2 \times 435}{4 \times 1,12 \times 250} = 43,9 \text{ kN/m} \right)$
$\beta = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$	$\beta = \arctan\left(\frac{91}{59}\right) = 57^\circ$	$\beta = \arctan\left(\frac{66}{56}\right) = 50^\circ$
$e_b = 0,25 \frac{h_{u2}}{\sqrt{2}}$	$e_b = 0,25 \times \frac{111}{\sqrt{2}} = 19,6 \text{ mm}$	$e_b = 0,25 \times \frac{86}{\sqrt{2}} = 15,2 \text{ mm}$
$V_{Ed} \leq 9 f_{cd} e_b \sin \beta \min\left(\frac{\phi_{at}}{s_{at}}; \frac{\phi_s}{s_t}\right)$	$V_{Ed} \leq \left(9 \times \frac{25}{1,50} \times 19,6 \times \sin 57 \times \min\left(\frac{8}{240}; \frac{6}{250}\right) = 59,2 \text{ kN/m} \right)$	$V_{Ed} \leq \left(9 \times \frac{25}{1,50} \times 15,2 \times \sin 50 \times \min\left(\frac{8}{240}; \frac{6}{250}\right) = 41,9 \text{ kN/m} \right)$
Condition d'espacement des suspentes pour être considérées comme des armatures d'effort tranchant		
$s_t \leq 1,5 h_2$	$s_t \leq (1,5 \times 111 = 167 \text{ mm})$	$s_t \leq (1,5 \times 101 = 152 \text{ mm})$
Disposition retenue pour les suspentes	HA6 B500B $s_t = 150 \text{ mm}$ $A_s = 188 \text{ mm}^2/\text{m}$	
Commentaire	Pour la justification avec armatures d'effort tranchant (en référence au paragraphe 2.4), les dispositions constructives conduisent à resserrer l'espacement des suspentes.	

Chapitre 3 Détail des vérifications et exemples sous séisme

La capacité résistante de la liaison est limitée par :

- la vérification du cisaillement au niveau de la surface de reprise (paragraphe 3.1)
- la vérification du cisaillement dans le béton coulé en place (paragraphe 3.2).

La capacité résistante est par ailleurs limitée à la résistance du plancher dans sa partie courante (paragraphe 3.3).

3.1 Cisaillement résistant à la surface de reprise

3.1.1 Généralités

La capacité résistante est déterminée en application du 6.2.5 de la NF EN 1992-1-1 « Cisaillement le long des surfaces de reprise ».

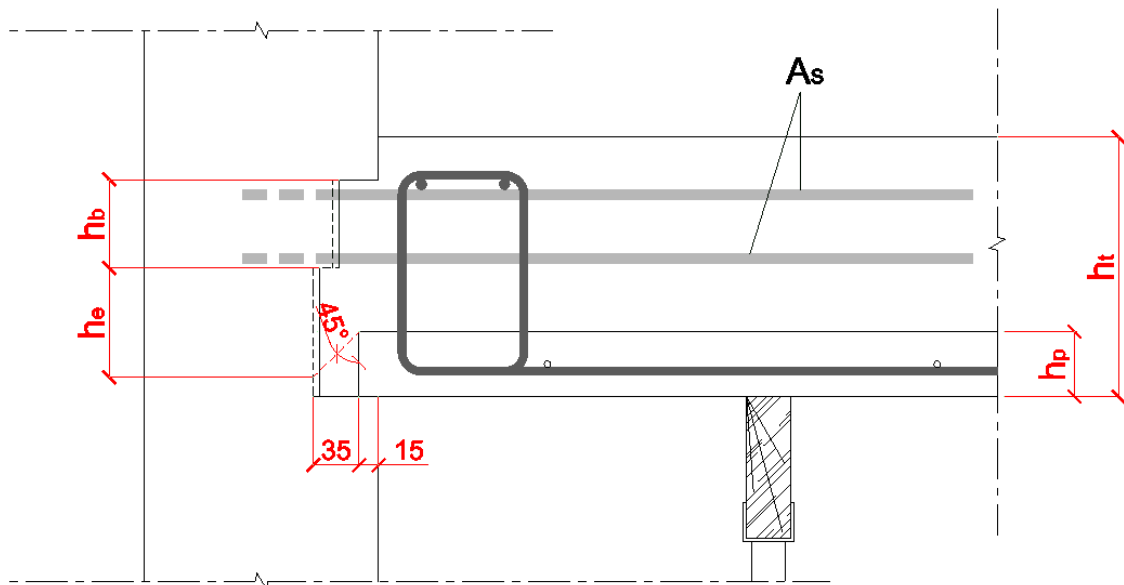


Figure 12 – Surface de reprise

Le cisaillement linéaire horizontal résistant, compte tenu de la réduction du paramètre de cohésion en situation sismique, s'exprime par :

$$V_{Rd,i} = \lambda \left[\frac{c}{2} f_{ctd} h_{eff} + \mu \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} \right] \leq 0,5 v f_{cd} h_{eff} \quad (1)$$

où :

$V_{Rd,i}$: cisaillement linéaire horizontal résistant à l'interface boîte/engravure – béton coulé en place (kN/m)

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

f_{ck} : résistance caractéristique à la compression du béton coulé en place (MPa)

$f_{ctk 0,05}$: résistance caractéristique à la traction du béton coulé en place (MPa)

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$: résistance de calcul en compression, en situation sismique, du béton coulé en place (MPa)

$f_{ctd} = \frac{f_{ctk 0,05}}{\gamma_c}$: résistance de calcul en traction, en situation sismique, du béton coulé en place (MPa)

$\gamma_c = 1,30$: coefficient de sécurité en situation sismique pour le béton

A_s : section totale des armatures en attente (supérieures et inférieures), ancrées de part et d'autre de la surface en fond de boîte, par mètre linéaire (mm²/ml)

f_{yk} : résistance caractéristique des attentes (MPa)

$\gamma_s = 1,0$: coefficient de sécurité en situation sismique pour les armatures

$\gamma_{pli} = 1,05$: coefficient de sécurité destiné à couvrir la possible dégradation de ductilité des armatures en attente du fait de leur pliage – redressage

h_{eff} : hauteur efficace du joint (mm) définie comme indiqué aux paragraphes 3.1.2, 3.1.3 et 3.1.4 ci-après à partir des deux dimensions suivantes :

- h_b : hauteur nominale de la boîte d'attente
- h_e : hauteur nominale efficace du joint au droit de l'engravure, hauteur délimitée en partie inférieure par l'intersection entre le fond de l'engravure et une ligne de diffusion à 45° partant du coin supérieur de la prédalle, avec une pénétration de 15 mm (voir Figure 12).

c et μ coefficients dépendant de la rugosité de surface et définis comme précisé au 6.2.5 de la NF EN 1992-1-1. Pour le classement des surfaces de reprise, sont considérées les aspérités ou indentations pouvant constituer un obstacle au déplacement horizontal. Ainsi, pour être qualifiée de surface avec indentation, les clés doivent être orientées verticalement.

Note : En l'absence de traitement particulier, le fond de boîte est considéré très lisse soit $c = 0,025$ et $\mu = 0,50$.

λ : coefficient prenant en compte l'accroissement de capacité résistante dans le cas où l'engravure seule est indentée

3.1.2 Cas où la rugosité de surface est homogène sur la hauteur

Les valeurs de c et de μ retenues sont celles relatives à l'état de surface considéré.

Il est retenu par ailleurs :

$$h_{eff} = h_b + h_e - \Delta d_{at}$$

$$\lambda = 1,0$$

Commentaire :

Δd_{at} est la tolérance sur la position relative de la boîte et de l'engravure par rapport au plancher.

Selon le type de pose, la valeur de Δd_{at} est prise égale à :

- 0 mm lorsque la banche intérieure est posée en premier ;
- 15 mm lorsque la banche extérieure est posée en premier.

3.1.3 Cas où l'engravure est lisse et le fond de boîte est indenté

La capacité résistante est déterminée en considérant les paramètres suivants :

$$c = 0,50$$

$$\mu = 0,90$$

$$h_{eff} = h_b$$

$$\lambda = 1,0$$

3.1.4 Cas où l'engravure est indentée et le fond de boîte présente une rugosité de surface moindre

Les valeurs de c et de μ retenues sont celles relatives à l'état de surface relatif au fond de boîte.

Il est retenu par ailleurs :

$$h_{eff} = h_b + h_e - \Delta d_{at}$$

$$\lambda = 1,20$$

3.2 Cisaillement résistant dans le béton coulé en place

La capacité résistante est déterminée en application du 6.2.4 de la NF EN 1992-1-1, en considérant une inclinaison des bielles sur la ligne d'appui de 45°, avec les modalités ci-après.

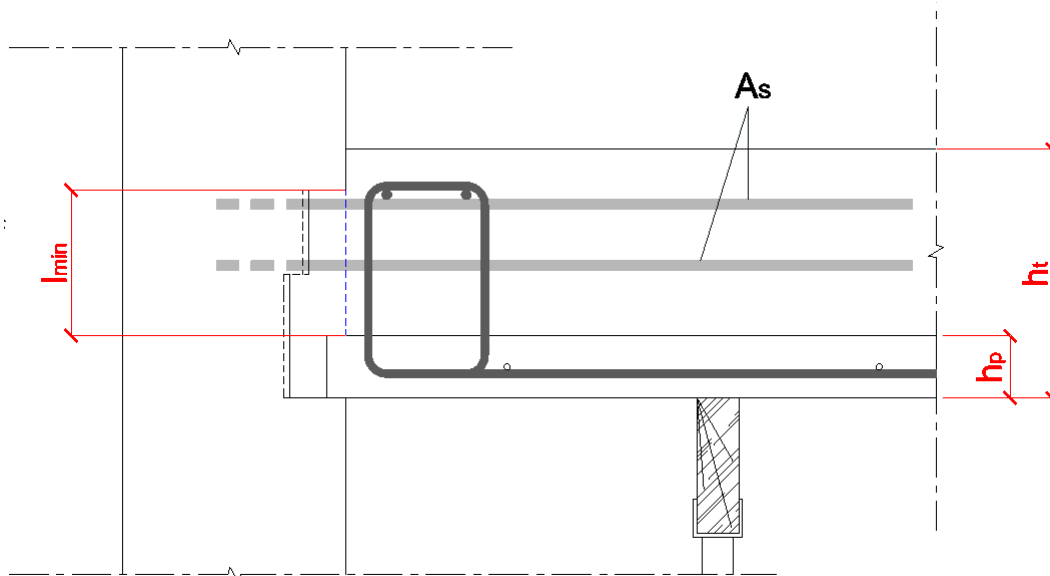


Figure 13 – Cisaillement dans le béton coulé en place

$$V_{Rd,csp} = \text{Max} \left\{ \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} \right. \quad (2)$$

$$V_{Rd,csp} \leq 0,5 v f_{cd} (l_{min} - \Delta d_{at}) \quad (3)$$

où :

$V_{Rd,csp}$: effort tranchant linéaire horizontal résistant dans le béton coulé en place (kN/m)

A_s : section totale des armatures en attente (supérieures et inférieures), ancrées de part et d'autre de la section de moindre résistance, par mètre (mm²/m)

f_{yk} : résistance caractéristique des attentes (MPa)

$k = 1,0$ selon 6.2.4 (6) de l'AN de l'EC2-1-1 pour le cisaillement dans le béton coulé en place.

l_{min} : hauteur nominale de la section de moindre résistance dans le béton coulé en place telle que définie dans la Figure 13 (mm)

Les autres variables sont définies ci-avant, au paragraphe 3.1.

3.3 Cisaillement résistant en partie courante du plancher

Le dimensionnement vis-à-vis du cisaillement horizontal en partie courante de plancher (perpendiculairement aux joints des prédalles) est effectué selon 6.2.2 ou 6.2.3 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale (NF EN 1992-1-1/NA), selon le modèle de calcul adopté.

Lorsque le plancher est assimilé à une poutre plate (suivant 6.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale), il est retenu pour v_{min} , la valeur adoptée pour les voiles.

L'effort tranchant résistant résultant de l'application du paragraphe 6.2.2 a alors pour valeur :

$$V_{Rd,c} = 0,23 \sqrt{f_{ck}} h_t \quad (4)$$

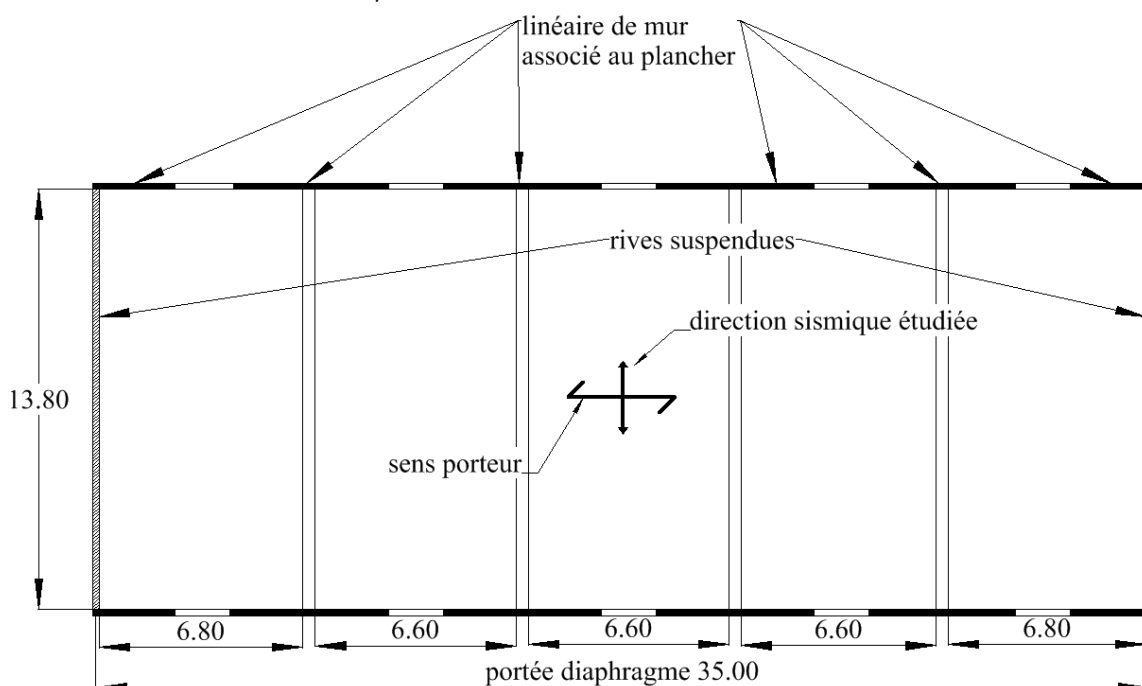
3.4 Exemple numérique 1

Dans l'exemple ci-après, il est supposé un bâtiment régulier en élévation et en plan, dont le contreventement est assuré par des voiles. La méthode des forces latérales (voir 4.3.3.2 de la NF EN 1998-1) est utilisée, avec un coefficient de comportement pris égal à 2,0. Les effets accidentels de la torsion sont pris en compte par le coefficient d'amplification pour les calculs en plan, applicable dans le cas de structure symétrique $\delta = 1,6$ (voir 4.3.3.2.4 de la NF EN 1998-1).

3.4.1 Hypothèses :

Bâtiment de catégorie d'usage B (bureaux), R+8 d'une hauteur totale de 27 m, avec toiture terrasse. Zone sismique 3, sol C, catégorie d'importance III, facteur de participation des masses : 0,8 (occupation corrélée). Epaisseur des planchers : $h_t = 0,20$ m

Béton de classe de résistance C25/30



Plancher constitué de cinq travées continues, appuyées sur les voiles périphériques constituant le contreventement et sur les poutres intermédiaires (portée des travées : 6,80 – 6,60 – 6,60 – 6,60 – 6,80 m, coefficient de continuité sur appui : 0,5). Elancement du diaphragme : $35 / 13,8 = 2,53$.

Effort tranchant sismique incluant les effets accidentels de torsion et le coefficient de surdimensionnement γ_d :

$$V_{Ed,H} = 71 \text{ kN/m}$$

3.4.2 Définition de la boîte d'attente et de l'engravure :

La banche intérieure est posée en premier $\rightarrow \Delta d_{at} = 0$

Epaisseur de la prédalle : $h_p = 60 \text{ mm}$

Boîte d'attente :

Etat de surface en fond de boîte : « très lisse »

Hauteur : $h_b = 85 \text{ mm}$

Commentaire :

Les armatures de la boîte d'attente ont une hauteur $h_{at} = 80 \text{ mm}$, le décalage entre le brin supérieur et le sommet de la boîte $u_1 = 5 \text{ mm}$.

Armatures :

- HA8 B500B
- Espacement : $s_t = 240 \text{ mm}$

Engravure :

Etat de surface en fond d'engravure : « très lisse »

Hauteur totale : 85 mm

$$h_e = 85 - 60 + 35 = 60 \text{ mm}$$

3.4.3 Calcul de la capacité résistante :

$$c = 0,025$$

$$\mu = 0,50$$

$$\lambda = 1,0$$

$$h_{eff} = h_b + h_e = 85 + 60 = 145 \text{ mm}$$

$$l_{min} = 85 + 85 - 60 = 110 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk\ 0,05} = 1,80 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,30} = 19,23 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk\ 0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,80}{1,30} = 1,385 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0,54$$

$\gamma_c = 1,30$: coefficient de sécurité en situation sismique pour le béton

$$A_s = 419 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,i} = \lambda \left[\frac{c}{2} f_{ctd} h_{eff} + \mu \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} \right] \leq 0,5 \nu f_{cd} h_{eff}$$

$$V_{Rd,i} = 1,0 \left[\frac{0,025}{2} \times 1,385 \times 145 + 0,50 \times \frac{419 \times 500 \times 10^{-3}}{1,05 \times 1,0} \right] \leq 0,5 \times 0,54 \times 19,23 \times 145$$

$$V_{Rd,i} = 102,3 \text{ kN/m} \leq 752,9 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,csp} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} = \frac{419 \times 500 \times 10^{-3}}{1,05 \times 1,0} = 199,5 \text{ kN/m} \\ k f_{ctd} l_{min} = 1,0 \times 1,385 \times 110 = 152,5 \text{ kN/m} \end{array} \right.$$

$$V_{Rd,csp} \leq 0,5 \nu f_{cd} l_{min}$$

$$V_{Rd,csp} \leq 0,5 \times 0,54 \times 19,23 \times 110 = 571,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c} = 0,23 \sqrt{f_{ck}} h_t = 0,23 \times \sqrt{25} \times 200 = 230 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,H} = \text{Min} [V_{Rd,i}; V_{Rd,csp}; V_{Rd,c}] = 102,3 \text{ kN/m}$$

Dans cet exemple, les attentes dimensionnées hors situation sismique pour la reprise des charges verticales et du moment forfaitaire de $0,15 M_t$ sont suffisantes pour assurer l'équilibrage de l'effort tranchant total vertical et horizontal, en situation sismique ; les contraintes de cisaillement horizontal en situation sismique restent inférieures aux seuils admissibles.

3.5 Exemple numérique 2

Bâtiment identique au cas précédent mais : zone sismique 3, sol D.

Effort tranchant sismique incluant les effets accidentels de torsion et le coefficient de surdimensionnement γ_d :

$$V_{Ed,H} = 112 \text{ kN/m}$$

La capacité résistante obtenue avec la boîte à fond lisse, définie dans l'exemple numérique précédent (102,3 kN/m) est insuffisante.

3.5.1 Solution n°1 :

La disposition de l'exemple numérique précédent est examinée avec une augmentation de la section d'armatures, en retenant un espacement $s_t = 200 \text{ mm}$, soit :

$$A_s = 503 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$V_{Rd,i} = \lambda \left[\frac{c}{2} f_{ctd} h_{eff} + \mu \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} \right] \leq 0,5 v f_{cd} h_{eff}$$

$$V_{Rd,i} = 1,0 \times \left[\frac{0,025}{2} \times 1,385 \times 145 + 0,50 \times \frac{503 \times 500 \times 10^{-3}}{1,05 \times 1,0} \right] \leq 0,5 \times 0,54 \times 19,23 \times 145$$

$$V_{Rd,i} = 122,3 \text{ kN/m} \leq 752,9 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,csp} = \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} = \frac{503 \times 500 \times 10^{-3}}{1,05 \times 1,0} = 239,5 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c} = 230 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,H} = \text{Min} [V_{Rd,i}; V_{Rd,csp}; V_{Rd,c}] = 122,3 \text{ kN/m}$$

3.5.2 Solution n°2 :

En conservant les mêmes armatures de l'exemple numérique précédent (HA8 – $s_t = 240 \text{ mm}$), il est considéré un montage, avec :

- état de surface en fond de boîte : « avec indentation »
- état de surface en fond d'engravure : « très lisse »

$$A_s = 419 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$c = 0,50$$

$$\mu = 0,90$$

$$\lambda = 1,0$$

$$h_{eff} = h_b = 85 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,i} = \lambda \left[\frac{c}{2} f_{ctd} h_{eff} + \mu \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} \right] \leq 0,5 v f_{cd} h_{eff}$$

$$V_{Rd,i} = 1,0 \times \left[\frac{0,50}{2} \times 1,385 \times 85 + 0,90 \times \frac{419 \times 500 \times 10^{-3}}{1,05 \times 1,0} \right] \leq 0,5 \times 0,54 \times 19,23 \times 85$$

$$V_{Rd,i} = 209 \text{ kN/m} \leq 441,3 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,csp}$ et $V_{Rd,c}$ étant inchangés par rapport aux résultats de l'exemple numérique 1 :

$$V_{Rd,csp} = 199,5 \text{ kN/m}; V_{Rd,c} = 230 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,H} = \text{Min} [V_{Rd,i}; V_{Rd,csp}; V_{Rd,c}] = 199,5 \text{ kN/m}$$

3.5.3 Solution n°3 :

En conservant toujours les mêmes armatures (HA8 – st = 240 mm) , il est considéré un montage, avec :

- Etat de surface en fond de boîte : « très lisse »
- Etat de surface en fond d'engravure : « avec indentation »

$$A_s = 419 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$c = 0,025$$

$$\mu = 0,50$$

$$\lambda = 1,20$$

$$h_{eff} = h_b + h_e = 85 + 60 = 145 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,i} = \lambda \left[\frac{c}{2} f_{ctd} h_{eff} + \mu \frac{A_s f_{yk} 10^{-3}}{\gamma_{pli} \gamma_s} \right] \leq 0,5 v f_{cd} h_{eff}$$

$$V_{Rd,i} = 1,20 \times \left[\frac{0,025}{2} \times 1,385 \times 145 + 0,50 \times \frac{419 \times 500 \times 10^{-3}}{1,05 \times 1,0} \right] \leq 0,5 \times 0,54 \times 19,23 \times 145$$

$$V_{Rd,i} = 122,7 \text{ kN/m} \leq 752,9 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,csp}$ et $V_{Rd,c}$ étant inchangés par rapport aux résultats de l'exemple numérique 1 :

$$V_{Rd,csp} = 199,5 \text{ kN/m} ; V_{Rd,c} = 230 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,H} = \text{Min} [V_{Rd,i} ; V_{Rd,csp} ; V_{Rd,c}] = 122,7 \text{ kN/m}$$

Dans cet exemple, les attentes dimensionnées hors situation sismique pour la reprise des charges verticales et du moment forfaitaire de 0,15 M_t sont suffisantes pour assurer l'équilibrage de l'effort tranchant total vertical et horizontal, en situation sismique sous réserve de réaliser un état de surface « avec indentation » au niveau de la boîte ou de l'engravure. Avec un état de surface très lisse, il serait nécessaire de renforcer la section d'armatures pour justifier cette solution.

Chapitre 4 Principes de mise en œuvre

4.1 Objet

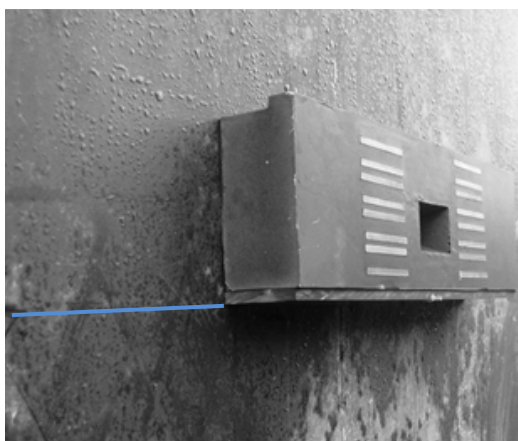
Le présent chapitre décrit un phasage de pose de manière succincte.

L'exemple ci-après concerne des voiles de 18 cm d'épaisseur associés à un plancher de 20 cm d'épaisseur dans le cas où la banche métallique intérieure est posée en premier.

NOTE Les photos ci-après représentent à titre indicatif des dispositifs d'engravure indépendants des boîtes d'attente, la liste des dispositifs respectant les dispositions du présent document n'étant pas exhaustive, certaines étapes de pose de ces dispositifs peuvent être différentes de celles décrites ci-après.

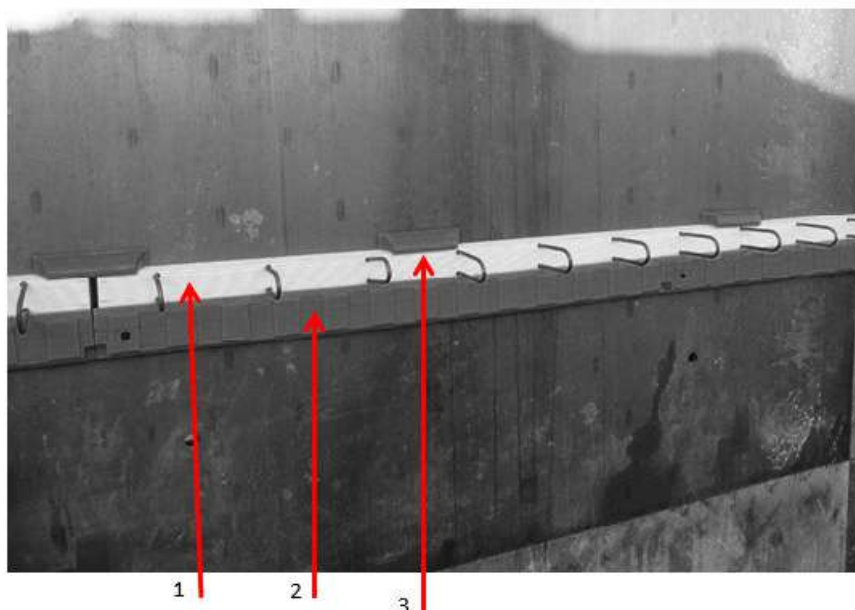
4.2 Mise en place du système LPPVE

Après la pose de la première banche, le système aimanté permettant d'assurer le maintien de la boîte d'attente et de créer l'engravure est positionné au niveau de la sous-face du plancher.



Les boîtes d'attente sont ensuite positionnées et calées sur les systèmes aimantés.

Le dispositif est éventuellement complété par des systèmes aimantés ponctuels disposés en partie haute des boîtes d'attente et destinés à les plaquer contre les banches.



Légende :

- 1 Boîte d'attente
- 2 Système aimanté filant (règle)
- 3 Système aimanté ponctuel



Les caractéristiques des boîtes d'attente sont déterminées en fonction notamment de l'épaisseur du voile. Par exemple, pour un voile d'épaisseur 18 cm ou plus, privilégier une boîte d'attente dont les boucles des armatures ont une hauteur de 14 cm et dont les attentes ont une longueur droite de 53 diamètres au minimum.

4.3 Armatures du voile

Les armatures du voile sont ensuite disposées suivant le plan du bureau d'études structure. Un exemple de schéma devant figurer dans le carnet de détail est présenté ci-dessous.

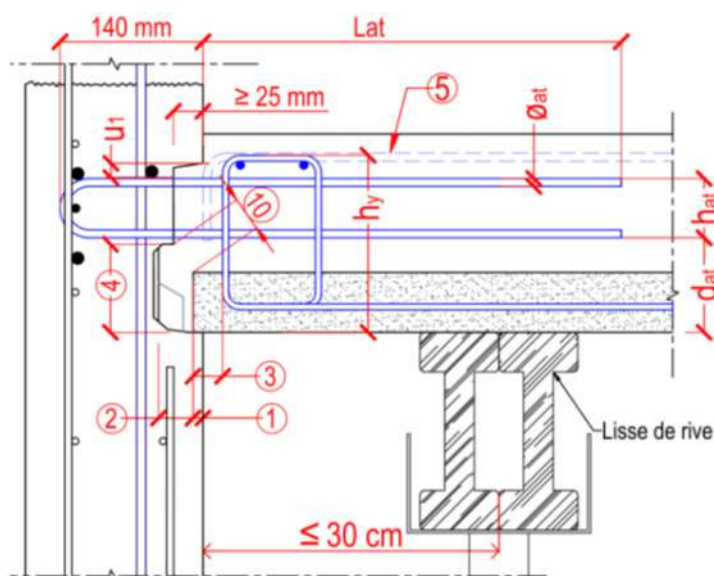


Figure 14 – Illustration de la liaison dans le carnet de détail

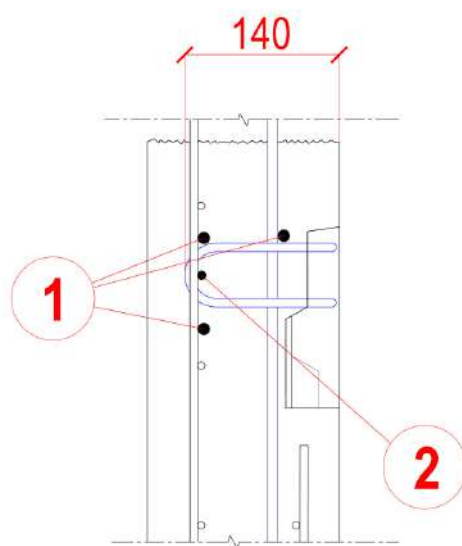


Figure 15 – Disposition des armatures de chaînage horizontal

4.4 Coulage du voile

Une fois la deuxième banche posée et calée, le voile est coulé puis décoffré suivant les délais.

Le capot des boîtes d'attente et les systèmes aimantés sont ensuite retirés ainsi que tout autre élément dont la notice d'utilisation du fournisseur prescrit le retrait, laissant ainsi apparaître les armatures pré-pliées en attente et l'engravure dans le voile.



4.5 Pose de la prédalle redressage des armatures et pose des barres de renfort

La prédalle est ensuite posée avec un léger repos dans l'engravure après mise en place de la lisse de rive.

La profondeur de pénétration de la prédalle est comprise entre 5 et 15 mm. Un espace minimal de 30 mm entre l'extrémité de la prédalle et le fond de l'engravure est requis pour le passage du béton.

Les suspentes et les armatures en attente sont ensuite redressées avec un outil approprié.

Les armatures filantes de renfort sont glissées dans les suspentes et fixées au plus haut au contact de ces dernières ou des armatures en attente.

La suite du ferrailage du nœud est ensuite effectuée suivant les plans du BET.

