

PLANCHERS À PRÉDALLES

GUIDE D'APPLICATION DES RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

concernant les planchers
à prédalles suspendues
avec boîtes d'attentes



COLLECTION RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT MÉTIER

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.

Les recommandations professionnelles* publiées en novembre 2009, par la Commission BNSR CF EC2, permettent de concevoir, calculer, exécuter et contrôler les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes, dans les cas les plus courants, conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française.

Le présent document, qui s'articule en deux parties, n'a pas pour objet de donner de nouvelles règles.

La première partie donne des solutions d'attentes courantes, qui satisfont aux exigences définies dans le présent Guide :

✦ un tableau définissant les hauteurs et positions des boîtes d'attentes compatibles avec les épaisseurs courantes de planchers à prédalles

✦ des graphiques fournissant les capacités résistantes des boîtes d'attentes compatibles pour deux longueurs d'armatures.

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

La deuxième partie précise et complète les recommandations professionnelles en détaillant les conditions d'application des méthodes de conception et de réalisation, afin de faciliter le travail des différents intervenants sur les chantiers (entreprises, bureaux d'études structures, bureaux de contrôle, préfabricant)

Ce Guide a été rédigé par un sous-groupe de la Commission Technique de la FIB Planchers-Ossatures (représentant les sociétés A2C préfa, KP1, LB7, RECTOR LESAGE, SEAC Guiraud Frères, SOPREL) en collaboration avec le CERIB et les directions techniques de la FFB (UMGO et EGF-BTP).

*Recommandations professionnelles concernant les dalles à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes. Collection Recherche Développement Métier, SEBTP, Novembre 2009.



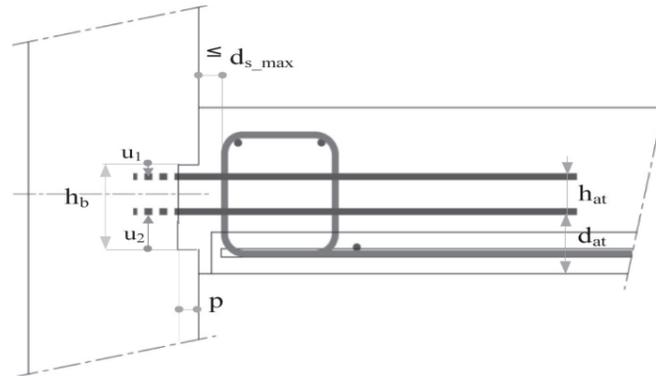
CHAPITRE I

TABLEAUX DE PRÉDIMENSIONNEMENT DES BOÎTES D'ATTENTES POUR LES CAS COURANTS

Hypothèses	6
Boîtes d'attentes compatibles avec les épaisseurs courantes de planchers à prédalles.....	8

HYPOTHÈSES

La configuration considérée est illustrée dans la figure ci-dessous.



Les tableaux définissant la capacité résistante de la liaison ont été établis à partir des hypothèses suivantes :

- béton de classe C25/30 ;
- dalle suspendue sur 2 appuis : calculs avec $d_{s,max} = 65$ mm ;
- enrobage des armatures passives avec minoration d'une classe (S3) :
XC1 : $c_{min,dur} = 10$ mm
XC2 / XC3 : $c_{min,dur} = 20$ mm
- suspentes de diamètre 6 mm ;
- fonctionnement sans armature d'effort tranchant (résistance du béton seul) ;

➤ deux classes de tolérance de positionnement en altitude des boîtes d'attentes :

- tolérance courante : ± 25 mm ;
- tolérance fine : ± 15 mm ;

➤ deux types de boîtes d'attentes :

- le type "Standard" pour lequel les attentes sont implantées dans l'axe de la boîte ;
- le type "Spécial Prédalles" pour lequel les attentes sont décalées vers le haut de la boîte.

Les deux tableaux suivants définissent la géométrie des boîtes d'attentes préconisées dans le présent Guide pour répondre aux cas de dalles courantes (valeurs en mm).

LES DIMENSIONS VERTICALES :

TYPE	STANDARD			SPÉCIAL PRÉDALLES		
	u_1	u_2	h_b	u_1	u_2	h_b
50	5	5	60	15	75	140
60	5	5	70	20	80	160
70	5	5	80	15	75	160
80	5	5	90	15	65	160
100	5	5	110	15	45	160

LA PROFONDEUR "P" DIFFÈRE SUIVANT LE DIAMÈTRE ϕ_{at} DE L'ATTENTE :

ϕ_{at}	8	10	12
p	30	30	45

➤ **Commentaires :** Le type "Standard" correspond aux profils de boîtes d'attentes destinées à une utilisation dans les murs et les planchers à dalles pleines avec ou sans prédalles. Le type "Spécial Prédalles" est optimisé pour l'association aux planchers avec prédalles.

Pour une même disposition d'armatures en attente, l'effort tranchant et le moment résistants obtenus avec ce profil sont supérieurs à ceux d'une boîte "Standard". La capacité résistante à l'effort tranchant est légèrement accrue du fait de l'augmentation de la valeur u_1 .

En raison de sa forme dissymétrique ($u_2 > u_1$), le niveau inférieur de la boîte se situe dans l'épaisseur de la prédalle, ménageant un espace qui sera ultérieurement rempli par le béton de chantier. Cette disposition a deux conséquences favorables vis-à-vis du moment résistant négatif : elle augmente le bras de levier des armatures supérieures et atténue, voire annule, l'incidence des tolérances de positionnement vertical. Les boîtes d'attentes "Spécial Prédalles" permettent ainsi de réaliser la majorité des planchers avec la tolérance courante. Les valeurs u_1 et u_2 sont définies de sorte que dans les situations extrêmes, en considérant la tolérance courante (± 25 mm), la boîte reste inscrite dans l'épaisseur du plancher.

➤ les performances sont fournies pour deux longueurs d'armatures "L" :

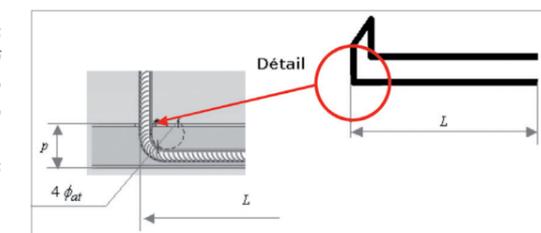
- $L \geq 40 \phi_{at}$
- $L \geq 53 \phi_{at}$

Comme illustré dans la figure ci-dessous, la longueur "L" est définie comme l'encombrement de l'armature d'attente façonnée en étrier.

Après dépliage, la longueur droite de l'armature mesurée à partir du fond de boîte est égale à :

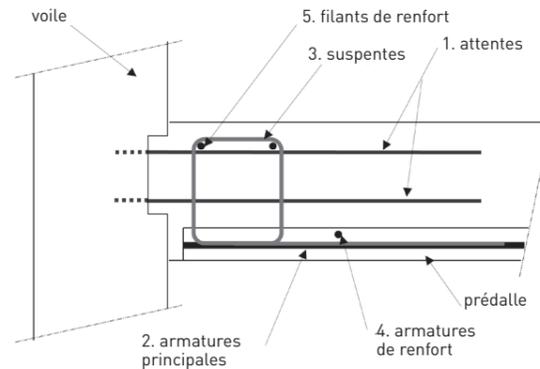
$$L_d = L + \left(\frac{5\pi}{4} - 3 \right) \phi_{at} = L + 0.93 \phi_{at}$$

soit sensiblement $L_d = L + \phi_{at}$



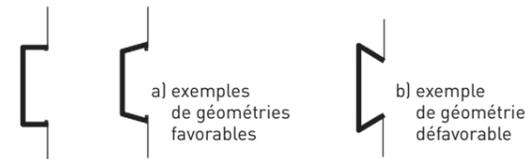
Toutes les dimensions figurant dans les tableaux sont exprimées en millimètres.

➤ **Note :** dans le cas d'hypothèses différentes, il sera nécessaire de réaliser un calcul spécifique.



SCHEMA DE REPÉRAGE DES DIFFÉRENTS TYPES D'ARMATURE

Note : Concernant le profil transversal des boîtes d'attentes, il est préférable de privilégier les géométries ne présentant pas de réduction notable de la section transversale au nu d'appui. Une telle disposition favorise la localisation de la fissure dans cette section, sous l'effet des déformations différées (retrait et/ou variations de température).



SECTIONS TRANSVERSALES DES BOÎTES D'ATTENTES

BOÎTES D'ATTENTES COMPATIBLES AVEC LES ÉPAISSEURS COURANTES DE PLANCHERS À PRÉDALLES

Epaisseur plancher	Epaisseur prédalles	Classe d'exposition XC1				Classe d'exposition XC2/XC3			
		Tolérance fine $\Delta d_{at} \pm 15$ mm		Tolérance courante $\Delta d_{at} \pm 25$ mm		Tolérance fine $\Delta d_{at} \pm 15$ mm		Tolérance courante $\Delta d_{at} \pm 25$ mm	
h_t	h_p	d_{at}	h_{at}	d_{at}	h_{at}	d_{at}	h_{at}	d_{at}	h_{at}
170	50	90	50	90	50	90	50	90	50
180	50								
190	50/60	95	60	100	50	95	50	95	50
200	50/60								
210	50/60	100	80	100	60	100	60	100	60
220	50/60								
230	50/60	100	100	105	80	100	80	105	80
240	50/60								
250	50/60	100	100+h	105	80+h	100	80+h	105	80+h
250+h	50/60								

CAPACITÉS RÉSIDANTES PAR UNITÉ DE LONGUEUR

(V_{Rd} en kN et M_{Rd} en kN*m)

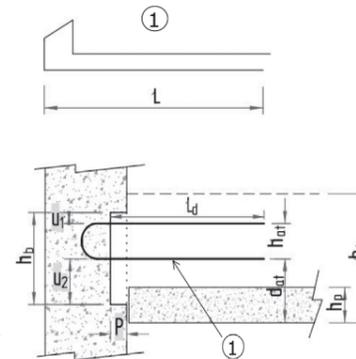
avec boîtes d'attentes de type **STANDARD**
(attentes en position axée) **et**

boîtes d'attentes **SPÉCIAL PRÉDALLES**
(attentes décalées vers le haut de la boîte)

- Le diamètre des suspentes est de 6 mm.
- Béton : C25/30
- Les calculs sont effectués dans l'hypothèse d'une dalle suspendue sur ses 2 appuis.
- Les boîtes d'attentes doivent bénéficier d'une certification AFCAB.

Légende

h_b hauteur de la boîte d'attentes.
 h_{at} largeur des étriers (encombrement hors tout).
 d_{at} distance entre la sous-face de la prédalle et le brin inférieur de l'attente.
 h_p épaisseur des prédalles.
 h_t épaisseur du plancher.
 L encombrement hors tout des attentes façonnées en étrier avant dépliage.
 L_d longueur des attentes dépliées mesurée depuis le fond de la boîte d'attentes.
 p profondeur de la boîte d'attentes.

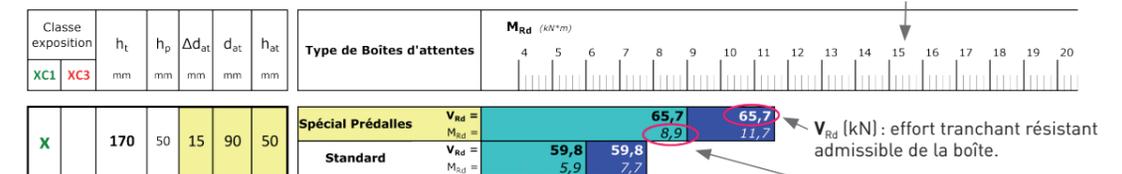


DÉTAILS DU PROFIL DES BOÎTES D'ATTENTES

h_{at}	h_b	u_1	u_2	Standard (attentes axées)			
				h_{at}	h_b	u_1	u_2
50	140	15	75	50	60	5	5
60	160	20	80	60	70	5	5
80	160	15	65	80	90	5	5
100	160	15	45	100	110	5	5

ϕ_{at}	$\phi 8$	$\phi 10$	$\phi 12$
P	30 mm	30 mm	45 mm

Echelle du M_{Rd} à comparer à $0,15 M_t$
Afin de mieux différencier les différentes solutions



Définition du plancher

Type de boîte

Tolérance de positionnement des boîtes d'attentes
 $\Delta d_{at} = \pm 25$ mm (tolérance courante) ou ± 15 mm (tolérance fine)

Classe d'exposition compatible : XC1 ou XC2/XC3

Couleur Caractéristiques de l'attente

ici : $\phi 8$, espacement 200 mm

ϕ attentes (en mm)	$\phi 8$			$\phi 10$		$\phi 12$	
	240	200	150	200	150	200	150
Espacement (en mm)							
Référence de la boîte							

Légende :

Ø attentes (en mm)	Ø 8	Ø 10	Ø 12
Espacement (en mm)	240	200	150
Référence de la boîte			

Attentes $L \geq 40 \phi_{at}$

L : encombrement hors tout des attentes façonnées en étrier avant dépliage

Classe exposition XC1 XC3	h _t mm	h _p mm	Ad _{at} mm	d _{st} mm	h _{at} mm	Type de Boîtes d'attentes		M _{Rd} (kN*m)		
						V _{Rd} N _{Rd}	M _{Rd} N _{Rd}	V _{Rd} N _{Rd}	M _{Rd} N _{Rd}	
X	170	50	15	90	50	Spécial Prédalles	65,7 8,9	65,7 8,9	65,7 8,9	11,7
						Standard	59,8 5,9	59,8 5,9	59,8 5,9	7,7
X	180	50	15	90	50	Spécial Prédalles	68,6 8,8	68,6 8,8	68,6 8,8	10,5
						Standard	59,8 4,9	59,8 4,9	59,8 4,9	7,7
X	190	50	15	95	50	Spécial Prédalles	68,6 9,2	68,6 9,2	68,6 9,2	11,0
						Standard	59,8 4,5	59,8 4,5	59,8 4,5	7,1
X	200	50	15	100	60	Spécial Prédalles	78,4 10,3	78,4 10,3	78,4 10,3	17,6
						Standard	71,5 5,7	71,5 5,7	70,3 8,9	13,7
X	200	50	25	100	50	Spécial Prédalles	71,5 8,8	71,5 8,8	71,5 8,8	10,5
						Standard	59,8 4,1	59,8 4,1	59,8 4,1	6,5
X	210	50	15	95	50	Spécial Prédalles	68,6 9,2	68,6 9,2	68,6 9,2	11,0
						Standard	59,8 4,5	59,8 4,5	59,8 4,5	7,1
X	210	50	15	100	60	Spécial Prédalles	78,4 10,3	78,4 10,3	78,4 10,3	17,6
						Standard	71,5 5,7	71,5 5,7	70,3 8,9	13,7
X	210	50	25	100	50	Spécial Prédalles	71,5 8,8	71,5 8,8	71,5 8,8	10,5
						Standard	59,8 4,1	59,8 4,1	59,8 4,1	6,5

CAPACITÉS RÉSISTANTES PAR UNITÉ DE LONGUEUR

(V_{Rd} en kN et M_{Rd} en kN*m)

avec boîtes d'attentes de type STANDARD et SPÉCIAL PRÉDALLES

CAPACITÉS RÉSISTANTES PAR UNITÉ DE LONGUEUR

(V_{Rd} en kN et M_{Rd} en kN*m)

avec boîtes d'attentes de type STANDARD et SPÉCIAL PRÉDALLES

Légende :

Ø attentes (en mm)	Ø 8	Ø 10	Ø 12
Espacement (en mm)	240	200	150
Référence de la boîte			

Attentes $L \geq 40 \phi_{at}$

L : encombrement hors tout des attentes façonnées en étrier avant dépliage

Classe exposition XC1 XC3	h _t mm	h _p mm	Ad _{at} mm	d _{st} mm	h _{at} mm	Type de Boîtes d'attentes		M _{Rd} (kN*m)		
						V _{Rd} N _{Rd}	M _{Rd} N _{Rd}	V _{Rd} N _{Rd}	M _{Rd} N _{Rd}	
X	220	50	15	100	80	Spécial Prédalles	91,1 10,7	106,7 12,8	106,7 12,8	24,1
						Standard	91,1 7,2	95,0 8,6	93,8 11,4	13,5
X	220	50	25	105	60	Spécial Prédalles	89,1 9,9	89,1 9,9	89,1 9,9	18,7
						Standard	71,5 5,3	70,3 6,3	70,3 6,3	12,7
X	220	50	15	100	60	Spécial Prédalles	78,4 10,3	78,4 10,3	78,4 10,3	19,4
						Standard	71,5 5,7	71,5 5,7	70,3 8,9	13,7
X	220	50	25	100	50	Spécial Prédalles	71,5 8,8	71,5 8,8	71,5 8,8	10,5
						Standard	59,8 4,1	59,8 4,1	59,8 4,1	6,5
X	230	50/60	15	100	80	Spécial Prédalles	91,1 10,7	106,7 12,8	106,7 12,8	24,1
						Standard	91,1 7,2	95,0 8,6	93,8 11,4	13,5
X	230	50/60	25	105	60	Spécial Prédalles	89,1 9,9	89,1 9,9	89,1 9,9	18,7
						Standard	71,5 5,3	70,3 6,3	70,3 6,3	12,7
X	240	50/60	15	100	100	Spécial Prédalles	91,1 10,7	106,7 12,8	106,7 12,8	24,1
						Standard	91,1 7,2	95,0 8,6	93,8 11,4	13,5
X	240	50/60	25	105	60	Spécial Prédalles	89,1 9,9	89,1 9,9	89,1 9,9	18,7
						Standard	71,5 5,3	70,3 6,3	70,3 6,3	12,7
X	250	50/60	15	100	100	Spécial Prédalles	107,7 12,8	107,7 12,8	107,7 12,8	29,7
						Standard	107,7 8,8	107,7 8,8	107,7 8,8	22,7
X	250	50/60	25	105	80	Spécial Prédalles	106,7 12,7	106,7 12,7	106,7 12,7	24,6
						Standard	91,1 6,8	95,0 8,2	93,8 10,8	12,7

Légende :

Ø attentes (en mm)	Ø 8	Ø 10	Ø 12
Espacement (en mm)	240	200	150
Référence de la boîte			

Attentes L ≥ 53 Ø_{at}

L : encombrement hors tout des attentes façonnées en étrier avant dépliage

Classe exposition XCI XCS	h _t mm	h _p mm	Δd _{st} mm	d _{st} mm	h _{st} mm	M _{st} (kNm)	Type de Boîtes d'attentes	
							V _{st} / M _{st}	V _{st} / M _{st}
X	170	50	15	90	50	65,7 12,0	Spécial Prédalles	65,7 15,8
							Standard	59,8 6,9
X	180	50	15	90	50	68,6 10,3	Spécial Prédalles	68,6 16,3
							Standard	59,8 5,8
X	190	50	15	95	50	68,6 10,8	Spécial Prédalles	68,6 17,0
							Standard	59,8 5,3
X	200	50	25	100	60	71,5 10,4	Spécial Prédalles	71,5 19,2
							Standard	59,8 6,7
X	210	50	25	100	60	71,5 10,3	Spécial Prédalles	71,5 22,2
							Standard	59,8 4,9
X	220	50	25	105	50	71,5 10,4	Spécial Prédalles	71,5 29,2
							Standard	59,8 5,3
X	230	50	25	105	60	71,5 10,3	Spécial Prédalles	71,5 32,4
							Standard	59,8 4,9

CAPACITÉS RÉSISTANTES PAR UNITÉ DE LONGUEUR

(V_{Rd} en kN et M_{Rd} en kN*m)

avec boîtes d'attentes de type STANDARD et SPÉCIAL PRÉDALLES

CAPACITÉS RÉSISTANTES PAR UNITÉ DE LONGUEUR

(V_{Rd} en kN et M_{Rd} en kN*m)

avec boîtes d'attentes de type STANDARD et SPÉCIAL PRÉDALLES

Légende :

Ø attentes (en mm)	Ø 8	Ø 10	Ø 12
Espacement (en mm)	240	200	150
Référence de la boîte			

Attentes L ≥ 53 Ø_{at}

L : encombrement hors tout des attentes façonnées en étrier avant dépliage

Classe exposition XCI XCS	h _t mm	h _p mm	Δd _{st} mm	d _{st} mm	h _{st} mm	M _{st} (kNm)	Type de Boîtes d'attentes	
							V _{st} / M _{st}	V _{st} / M _{st}
X	170	50	15	90	50	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 41,3
							Standard	91,1 8,5
X	180	50	15	90	50	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 28,0
							Standard	91,1 8,5
X	190	50	15	95	50	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 32,4
							Standard	91,1 8,5
X	200	50	25	100	60	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 42,3
							Standard	91,1 8,5
X	210	50	25	100	60	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 42,3
							Standard	91,1 8,5
X	220	50	25	105	50	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 42,3
							Standard	91,1 8,5
X	230	50	25	105	60	106,7 23,0	Spécial Prédalles	106,7 42,3
							Standard	91,1 8,5



CHAPITRE II

GUIDE D'APPLICATION

1. Objet	16
2. Domaine d'application	16
3. Symboles et définitions.....	19
3.1 Symboles.....	19
3.2 Définitions	20
4. Conception du nœud d'appui	20
4.1 Caractéristiques géométriques du nœud	20
• 4.1.1 Tolérances d'exécution.....	20
• 4.1.2 Différentes configurations de mise en œuvre.....	21
4.2 Fonctionnement sans armature d'effort tranchant	23
• 4.2.1 Contraintes géométriques.....	23
• 4.2.2 Dimensionnement.....	25
4.3 Fonctionnement avec armatures d'effort tranchant	27
• 4.3.1 Contraintes géométriques	27
• 4.3.2 Dimensionnement	28
4.4 Détermination de la hauteur des boîtes d'attentes [h_a]	30
4.5 Prise en compte du retrait gêné	30
5. Armatures du nœud et des prédalles.....	31
5.1 Armatures longitudinales et armatures de répartition des prédalles	31
5.2 Suspentes.....	31
5.3 Attentes du support	32
5.4 Filants de renfort dans le béton coulé en œuvre	32
5.5 Cas particulier des suspentes avec rehausse.....	32
5.6 Armatures de liaison entre les prédalles et les rives non porteuses	33
6. Dispositions parasismiques	33
7. Principes de mise en œuvre.....	33
7.1 Généralités.....	33
7.2 Préparation avant coulage du plancher	34
7.3 Contrôle avant coulage du plancher	36
7.4 Dispositions après coulage du plancher	38
Bibliographie	39
Annexes	40

1. OBJET

Ce chapitre traite des dispositions à prendre pour la conception et la réalisation du nœud d'appui entre un plancher composite, réalisé dans les cas courants à l'aide de prédalles en béton précontraint ou en béton armé et un support vertical (voile, poutre allège ou paroi enterrée avec une face coffrée) coulé préalablement jusqu'à un niveau supérieur à celui du plancher et intégrant des armatures en attente pour assurer la liaison. Les appuis sont alors dits "suspendus". Ce type de condition d'appui nécessite la prise en compte de dispositions particulièrement précises et rigoureuses pour garantir la pérennité de la liaison et par conséquent celle des bâtiments.

La coordination des études est indispensable entre le bureau d'études structures et celui du préfabriquant de prédalles.

A tout moment, il doit être gardé à l'esprit de tous les intervenants que le point essentiel d'une telle disposition est la rigueur de sa mise en œuvre. Un contrôle visuel avant coulage doit être réalisé par le responsable chargé de l'exécution.

Les tolérances de fabrication des prédalles et celles d'exécution du plancher sont prises en compte pour déterminer les dispositions constructives à retenir pour la conception du nœud d'appui.

2. DOMAINE D'APPLICATION

Ce Guide s'applique aux dalles de planchers composites de tous les planchers intermédiaires et de toitures terrasses de bâtiments (logements collectifs, bureaux, industriels, stockages, établissements publics tels que écoles, hôpitaux, etc.), se comportant de façon monolithique après durcissement du béton coulé en place, confectionnées à partir de bétons de granulats courants. Ce monolithisme est obtenu par l'adhérence entre l'élément préfabriqué et la table de compression avec ou sans armatures de liaison.

Les tolérances de position verticale des boîtes d'attentes par rapport à la sous face du plancher sont généralement prises égale à :

$$\pm 15 \text{ mm (tolérance fine)}$$

ou

$$\pm 25 \text{ mm (tolérance courante)}$$

La prise en compte de ces tolérances conduit à une épaisseur minimale de plancher de 17 cm.

➤ **Note :** D'autres tolérances peuvent être considérées dans la mesure où elles sont intégrées dans les calculs. Un accroissement des tolérances peut entraîner une augmentation de l'épaisseur du plancher.

Les différents types de dalles de planchers concernés sont les dalles composites pleines réalisées avec des prédalles en béton armé ou précontraint, avec ou sans treillis raidisseur, fabriquées en usine fixe. Les prédalles sont munies de suspentes et ne comportent pas d'armatures longitudinales dépassant aux abouts.

Le présent Guide concerne les planchers à prédalles suspendus dans lesquels :

- l'épaisseur nominale des prédalles n'est pas inférieure à 50 mm ;
- l'épaisseur de la prédalle est inférieure ou égale à la moitié de l'épaisseur totale du plancher ;
- l'encombrement vertical des attentes h_{at} (voir chapitre 4) est au moins égal à 50 mm.

Les planchers à prédalles peuvent être suspendus sur une ou sur deux extrémités.

Les planchers à prédalles suspendus sont généralement réalisés en intégrant des boîtes d'attentes dans les éléments porteurs.

➤ **Note :** Il est également possible de remplacer les boîtes d'attentes par des armatures ancrées par scellement a posteriori dans les éléments porteurs. Les attentes des voiles peuvent également être réalisées avec des coupleurs.

La classe du béton coulé en place est au moins C25/30.

Les boîtes d'attentes doivent être certifiées NF AFCAB ou équivalent.

➤ **Note :** Dans l'attente de la mise en place effective de cette certification, le fournisseur des boîtes d'attentes devra apporter la preuve de conformité aux exigences du référentiel de certification.

Le présent Guide traite :

➤ des boîtes d'attentes comportant deux rangées d'armatures disposées dans un même support de boîte (Figure 1) ;

➤ des boîtes d'attentes comportant deux rangées d'armatures, chaque rangée étant disposée dans un support de boîte (Figure 2). L'élément en béton formé entre les deux supports doit être éliminé avant coulage du plancher.

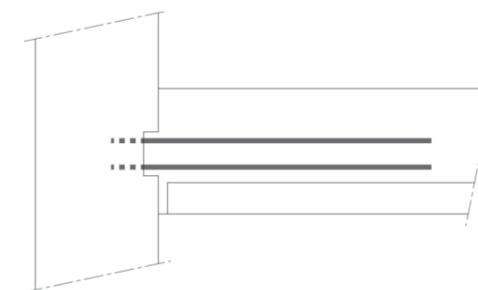


FIGURE 1 - EXEMPLE DE BOÎTE D'ATTENTES COMPORTANT DEUX RANGÉES D'ARMATURES DISPOSÉES DANS UN MÊME SUPPORT

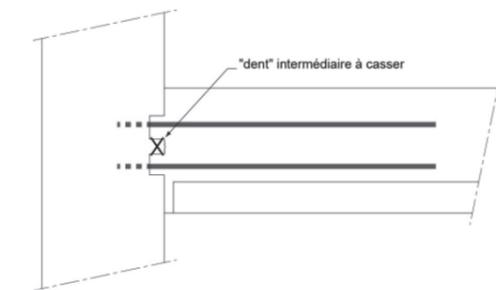
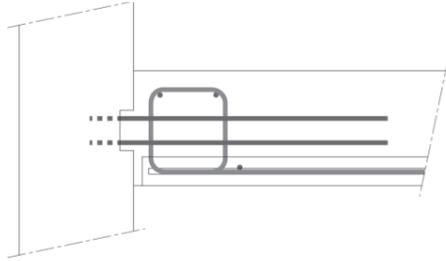
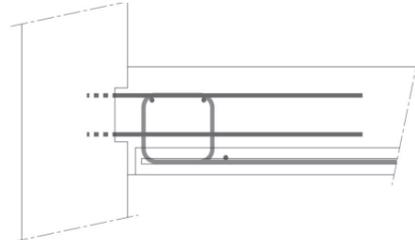


FIGURE 2 - EXEMPLE DE BOÎTE D'ATTENTES COMPORTANT UNE RANGÉE D'ARMATURES DISPOSÉES CHACUNE DANS UN SUPPORT

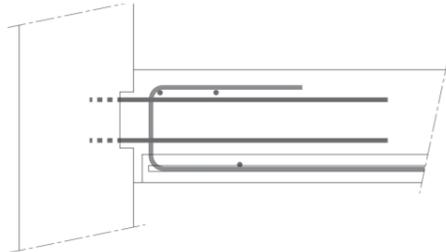
Suspente fermée et avec brin supérieur de l'attente au-dessous des filants de renfort.



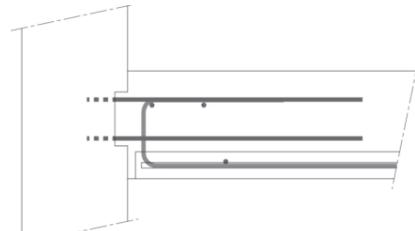
Suspente fermée avec brin supérieur de l'attente au-dessus des filants de renfort (sans toutefois dépasser le niveau du retour horizontal de la suspente).



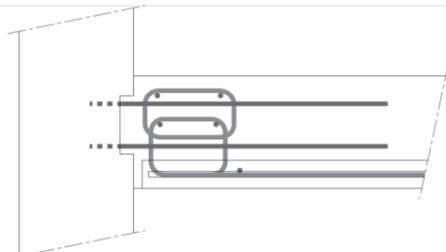
Suspente en U avec brin supérieur de l'attente au-dessous des filants de renfort.



Suspente en U avec brin supérieur de l'attente au-dessus des filants de renfort (sans toutefois dépasser le niveau du retour horizontal de la suspente).



Solution pour le cas particulier des planchers épais : Rehausse de suspente avec un cadre fermé.



Solution pour le cas particulier des planchers épais : Rehausse de suspente avec un U.

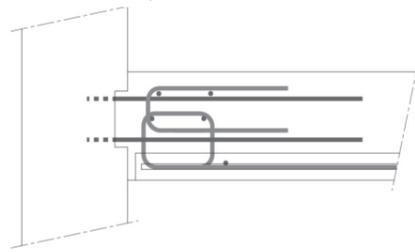


FIGURE 3 - EXEMPLES DE PRINCIPES DE FERRAILLAGE POUR UN PLANCHER À PRÉDALLES SUSPENDU

NOTE 1 : La suspente peut être prolongée en partie supérieure par un cadre ou un U en rehausse avec un recouvrement effectif vertical. L'ensemble est appelé suspente dans la suite du présent document.

NOTE 2 : Dans la suite du document, la solution avec suspentes en forme de cadre fermé est souvent représentée par défaut sans que cela constitue un choix qualitatif.

Ne sont pas visés :

les éléments formant seulement coffrage de dalle ou de hourdis pendant la construction ; la résistance de la dalle étant, dans ce cas, assurée par la partie de béton armé coulée sur la prédalle ;

les plancher-dalles sur appuis ponctuels.

3. SYMBOLES ET DÉFINITIONS

3.1 Symboles

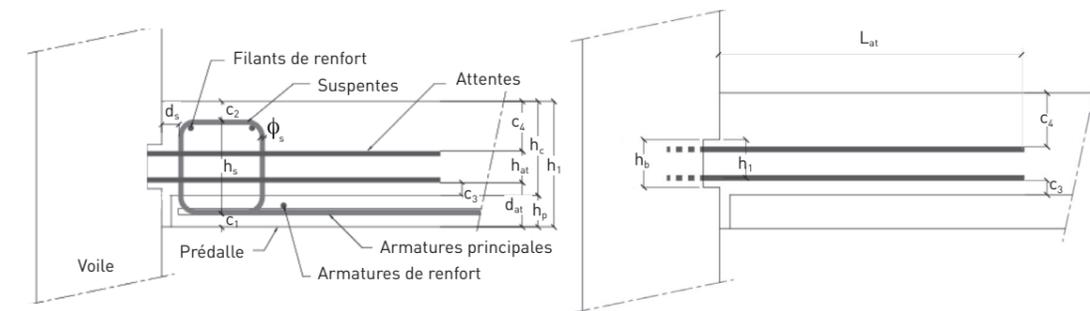


FIGURE 4 - SCHEMAS DES SYMBOLES UTILISÉS

ϕ_s	diamètre de la suspente.	c_4	enrobage nominal de l'armature supérieure (n° 1) en attente par rapport à la fibre supérieure du plancher.
$h_{s,p}$	encombrement vertical de la suspente avant redressage.	d'	hauteur de l'axe des armatures de précontrainte par rapport à la face inférieure de la prédalle.
h_s	encombrement vertical de la suspente après redressage.	e_b	largeur de la bielle.
s_i	espacement des suspentes.	h_c	épaisseur nominale du béton coulé en œuvre au-dessus de la prédalle.
h_b	hauteur de la boîte d'attentes (lorsqu'une boîte d'attentes est utilisée) ou hauteur de la zone traitée par piquage du support (lorsque des armatures sont scellées a posteriori).	h_1	hauteur entre l'axe de l'attente inférieure et le bord supérieur de la boîte d'attentes (lorsqu'une boîte d'attentes est utilisée) ou entre l'axe de l'attente inférieure et la limite supérieure de piquage (lorsque des armatures sont scellées a posteriori).
ϕ_{at}	diamètre des armatures de la boîte d'attentes.	L_{at}	longueur de dépassement des armatures de la boîte d'attentes par rapport au nu intérieur du support.
$A_{s,at}$	section unitaire de l'armature de la boîte d'attentes.		
d_{at}	distance nominale entre la face inférieure de la prédalle et l'armature inférieure (n° 1) en attente.		
Δd_{at}	tolérance d'implantation des boîtes d'attentes dans le voile.		
h_{at}	hauteur d'encombrement des attentes, égale à la distance verticale hors tout entre les brins du lit inférieur et du lit supérieur.		
Δh_{at}	tolérance sur la hauteur d'encombrement des attentes.		
h_i	épaisseur totale du plancher.		
Δh_i	tolérance d'exécution de l'épaisseur du plancher.		
h_p	épaisseur nominale de la prédalle.		
Δz_p	tolérance de positionnement vertical de la prédalle.		
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 (n° 3).		
c_3	enrobage nominal des armatures inférieures en attente par rapport à la fibre supérieure de la prédalle.		

3.2 Définitions

Prédalle : dalle de béton, armé ou précontraint, utilisée en tant que coffrage permanent pour le béton coulé en place avec lequel elle forme la dalle monolithique. Elle constitue la partie inférieure du plancher et comporte tout ou partie de l'armature inférieure.

Prédalle en béton armé : prédalle dont les armatures de béton armé constituent l'armature principale de la dalle composite.

Prédalle en béton précontraint : prédalle dont les armatures de précontrainte par pré-tension constituent l'armature principale de la dalle composite.

Prédalle avec treillis raidisseur : prédalle comportant des treillis raidisseurs continus généralement parallèles à la direction mécanique principale de la

dalle composite. Ils contribuent à la résistance et la rigidité de la dalle dans les phases provisoires.

Suspente : armature transversale façonnée en forme de cadre ou en U dont un brin horizontal vient en recouvrement avec les armatures longitudinales de la prédalle.

Prédalle suspendue : prédalle sans armature dépassante, comportant des suspentes au voisinage de l'about. La liaison sans appui sur l'élément porteur vertical est constituée de suspentes intégrées à la prédalle avec des aciers horizontaux intégrés dans l'élément porteur. Cette disposition peut être rencontrée soit à une seule de ses extrémités (l'autre extrémité reposant de façon classique sur son élément porteur), soit à ses deux extrémités.

4. CONCEPTION DU NŒUD D'APPUI

Etant donné que la prédalle ne prend pas directement appui sur l'élément porteur, il convient de reporter la réaction d'appui sur le support par l'intermédiaire d'armatures disposées dans le béton de clavetage.

Selon les caractéristiques géométriques du nœud d'appui, deux modes de fonctionnement peuvent être utilisés dans le cadre du présent Guide : avec ou sans armatures d'effort tranchant.

Dans le présent document, le fonctionnement sans armatures d'effort tranchant est considéré comme la méthode de dimensionnement courante des planchers à prédalles suspendus (exemples de calcul en annexe A et B).

Dans le cas où le fonctionnement ci-dessus n'est pas justifiable (résistance du béton seul insuffisante), le fonctionnement avec armatures d'effort tranchant est utilisé. Cette approche, valable pour des planchers d'épaisseur supérieure ou égale à 22 cm, conduit à des sections de suspentes plus importantes (exemple de calcul en annexe C).

4.1 Caractéristiques géométriques du nœud

• 4.1.1 Tolérances d'exécution

Pour les planchers à prédalles suspendues, la tolérance de position verticale des attentes est précisée sur les plans d'exécution. Dans le cas de boîtes d'attentes, sauf indication contraire, on retiendra l'une des tolérances suivantes :

✎ **tolérance courante :** $\Delta d_{at} = \pm 25 \text{ mm}$;

✎ **tolérance fine :** $\Delta d_{at} = \pm 15 \text{ mm}$;

La tolérance sur la distance libre entre les éléments support est prise égale à $\pm 20 \text{ mm}$.

✎ **Note :** Sauf indications contraires mentionnées dans les Documents Particuliers du Marché, les tolérances définies dans la norme NF EN 13670 s'appliquent.

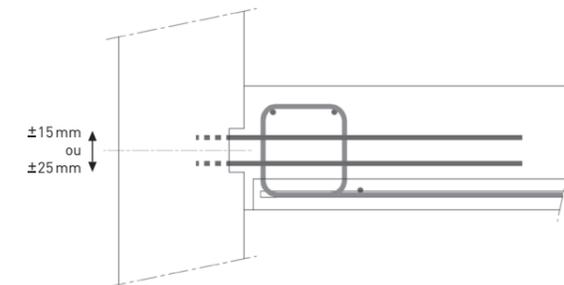


FIGURE 5 - TOLÉRANCES DE MISE EN ŒUVRE DES BOÎTES D'ATTENTES POUR LES PLANCHERS À PRÉDALLES SUSPENDUS

• 4.1.2 Différentes configurations de mise en œuvre

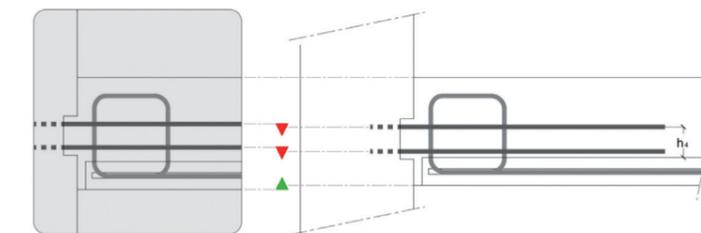
Avec la prise en compte des tolérances d'exécution présentées au chapitre précédent, cinq configurations peuvent être distinguées pour la conception

du plancher, en prenant le cas le plus défavorable selon la vérification considérée (effort tranchant, flexion, ...)

CONFIGURATION N°1

Dans cette configuration, les boîtes d'attentes sont déplacées vers le bas de la valeur de la tolérance Δd_{at} retenue pour leur implantation. Simultanément,

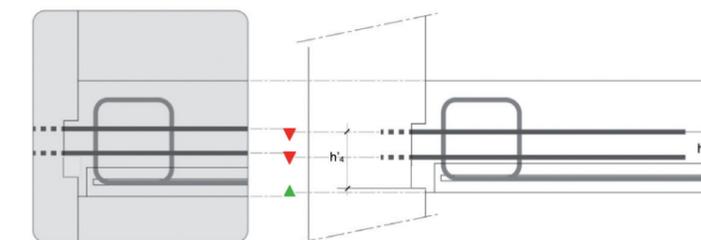
les prédalles sont décalées vers le haut de 5 mm. Le niveau supérieur du plancher est considéré à sa position nominale.



Légende :

- h_4 hauteur entre l'axe du brin supérieur de l'attente et le dessus de la prédalle.
- h'_4 hauteur entre l'axe du brin supérieur de l'attente et le niveau inférieur de la boîte.

a) cas des boîtes de type STANDARD

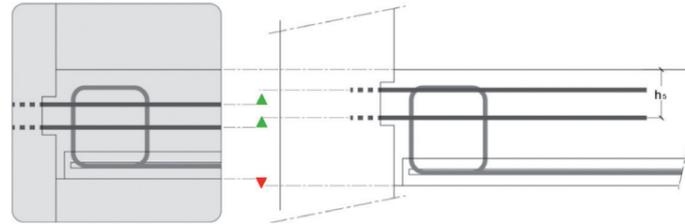


b) cas des boîtes de type SPÉCIAL PRÉDALLES

FIGURE 6 - BOÎTES D'ATTENTES EN POSITION BASSE ET PRÉDALLES EN POSITION HAUTE (CONFIGURATION N° 1)

CONFIGURATION N°2

Les boîtes d'attentes sont déplacées vers le haut de la valeur de la tolérance Δd_{at} retenue pour leur implantation. Simultanément, les prédalles sont décalées vers le bas de 5 mm. Le niveau supérieur du plancher est considéré à sa position nominale.



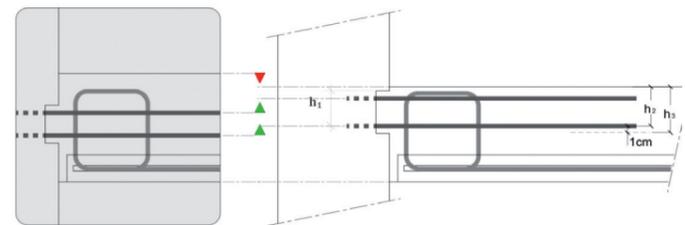
Légende :

h_5 hauteur entre l'axe du brin inférieur de l'attente et la face supérieure de la dalle.

FIGURE 7 – BOÎTES D'ATTENTES EN POSITION HAUTE ET PRÉDALLES EN POSITION BASSE (CONFIGURATION N° 2)

CONFIGURATION N°3

Les boîtes d'attentes sont déplacées vers le haut de la valeur de la tolérance Δd_{at} retenue pour leur implantation. Simultanément, l'épaisseur de béton coulé en œuvre et donc le niveau supérieur du plancher, sont abaissés de 5 mm. Le niveau inférieur du plancher est considéré à sa position nominale.



Légende :

h_2 hauteur entre l'axe du brin inférieur de l'attente et la face supérieure de la dalle.
 h_3 hauteur de la dalle fictive limitée par la face supérieure du plancher et un enrobage de 1 cm sous les attentes inférieures.

FIGURE 8 – BOÎTES D'ATTENTES EN POSITION HAUTE ET ÉPAISSEUR TOTALE DU PLANCHER RÉDUITE (CONFIGURATION N° 3)

CONFIGURATION N°4

Les boîtes d'attentes et les prédalles sont en position nominale, l'épaisseur de béton coulé en œuvre et donc le niveau supérieur du plancher, sont abaissés de 5 mm. Le niveau inférieur du plancher est considéré à sa position nominale.

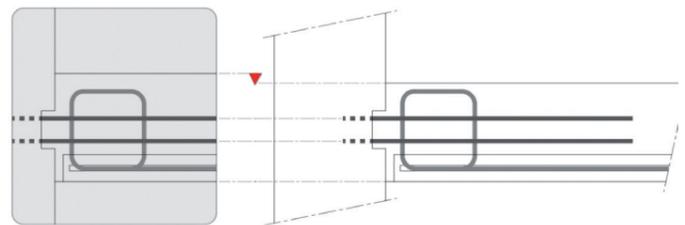
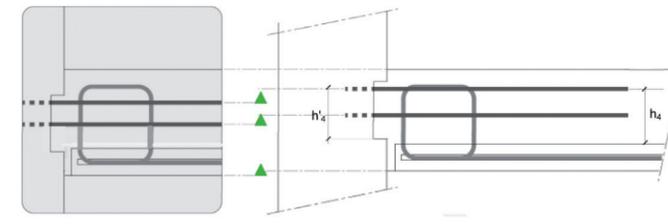


FIGURE 9 – ÉPAISSEUR TOTALE DU PLANCHER PLUS FAIBLE (CONFIGURATION N° 4)

CONFIGURATION N°5

Les boîtes d'attentes sont déplacées vers le haut de la valeur de la tolérance Δd_{at} retenue pour leur implantation. Le niveau supérieur du plancher est considéré à sa position nominale. Le niveau inférieur du plancher est décalé vers le haut de 5 mm.



Légende :

h_4 hauteur entre l'axe du brin supérieur de l'attente et le dessus de la prédalle.
 h'_4 hauteur entre l'axe du brin supérieur de l'attente et le niveau inférieur de la boîte.

FIGURE 10 – BOÎTE D'ATTENTES SPÉCIAL PRÉDALLES EN POSITION HAUTE (CONFIGURATION N° 5)

4.2 Fonctionnement sans armature d'effort tranchant

• 4.2.1 Contraintes géométriques

Les différents critères suivants doivent être respectés lors de la conception du plancher.

La hauteur d'encombrement des attentes h_{at} n'est pas inférieure à 50 mm.

Dans la **configuration N°1**, l'attente inférieure doit pouvoir être dépliée horizontalement :

- au-dessus de la suspente repliée à l'horizontale.

L'encombrement de la suspente au-dessus de la prédalle est égal à $[c_1 + h_{s,p} - h_p]$, où $h_{s,p}$ représente l'encombrement vertical total de la suspente prépliée.

Lorsque la suspente est façonnée pliée avant intégration dans la prédalle, $h_{s,p}$ est au moins égal à $[6 \Phi_s + 20 \text{ mm}]$.

➤ Note : Cette condition résulte de contraintes de façonnage de l'armature.

Le dépassement au-dessus de la prédalle doit en outre être au minimum de $3\Phi_s$ pour permettre un dépliage correct.

Exemple 1 : Dans le cas d'une prédalle de 5 cm et une suspente de diamètre 8 mm façonnée repliée, avec $c_1 = 10 \text{ mm}$, on a $(c_1 + 6 \Phi_s + 20 - h_p) = 28 \text{ mm}$ supérieur à $3 \Phi_s = 24 \text{ mm}$.

Exemple 2 : Dans le cas d'une prédalle de 6 cm et une suspente de diamètre 6 mm avec un encombrement vertical $h_{s,p} = 65 \text{ mm}$ et $c_1 = 20 \text{ mm}$ on a $c_3 = c_1 + h_{s,p} - h_p = 25 \text{ mm} \geq 3 \Phi_s = 18 \text{ mm}$.

- au-dessus de la prédalle en ménageant un enrobage minimum effectif de 10 mm

Notons $c_{3[1]}$ la valeur prise par c_3 dans la configuration N°1.

Il faut vérifier :

$$C_{3[1]} \geq C_{3,min}$$

avec :

$$C_{3[1]} = d_{at} - h_p - \Delta z_p - \Delta d_{at} = c_3 - \Delta z_p - \Delta d_{at}$$

$$C_{3,min} = \max \begin{cases} c_1 + h_{s,p} - h_p \\ 3 \phi_s \\ 10mm \end{cases}$$

$$h_{s,p} \geq 6 \phi_s + 20mm$$

pour une suspente façonnée pliée avant intégration dans la prédalle.

soit :

$$c_3 \geq C_{3,min} + \Delta z_p + \Delta d_{at}$$

et :

$$d_{at} \geq h_p + C_{3,min} + \Delta z_p + \Delta d_{at}$$

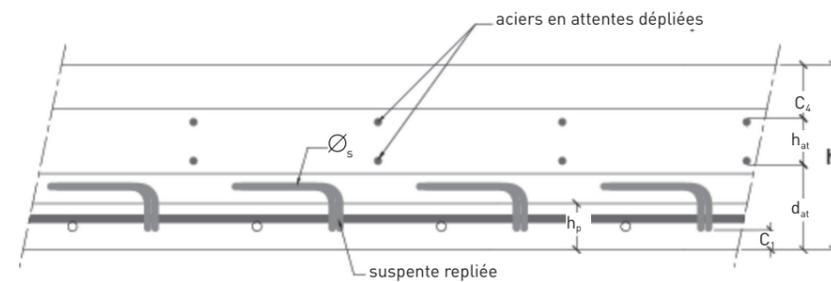


FIGURE 11 – ENCOMBREMENT MAXIMUM DE LA SUSPENTE REPLIÉE

Dans la **configuration N°3**, l'enrobage du brin supérieur de l'attente doit être au moins égal à la valeur c_{min} requise pour la classe d'exposition, soit :

Notons $c_{4[3]}$ la valeur prise par c_4 dans la configuration N°3.

Il faut vérifier :

$$C_{4[3]} \geq C_{min}$$

avec :

$$C_{4[3]} = h_t - d_{at} - h_{at} - \Delta h_t - \Delta d_{at} = c_4 - \Delta h_t - \Delta d_{at}$$

soit :

$$c_4 \geq C_{min} + \Delta h_t + \Delta d_{at}$$

c_{min} = selon classe d'exposition (ex : pour du béton XC1 : $c_{min} = 10mm$)

Dans les **configurations N°1, N°3 et N°4**, l'enrobage du retour horizontal supérieur de la suspente doit être au moins égal à la valeur c_{min} requise pour la classe d'exposition.

Notons $c_{2[1]}$, $c_{2[3]}$, $c_{2[4]}$ la valeur prise par c_2 respectivement dans les configurations N°1, 3 et 4.

Il faut vérifier :

$$C_{2[1]} \geq C_{min}$$

$$C_{2[3]} \geq C_{min}$$

$$C_{2[4]} \geq C_{min}$$

avec :

$$C_{2[1]} = h_t - c_1 - h_s - \Delta z_p = c_2 - \Delta z_p$$

$$C_{2[3]} = C_{2[4]} = h_t - c_1 - h_s - \Delta h_t = c_2 - \Delta h_t$$

soit :

$$C_2 \geq \begin{cases} C_{min} + \Delta z_p \\ C_{min} + \Delta h_t \end{cases}$$

Note : Les deux formules donnent un résultat identique car $z_p = h_t = 5mm$.

Dans le cas des boîtes d'attentes posées plus haut que prévu et à la limite des tolérances, les aciers hauts sortant de ces boîtes doivent se trouver au même niveau que celui du retour horizontal des suspentes.

Pour cela, la position théorique sur plan en altitude des boîtes d'attentes doit être telle que le plan horizontal des aciers hauts sortant de ces boîtes soit situé à une distance de celui du retour horizontal des suspentes égale à la valeur admise pour la tolérance en altitude.

soit :

$$C_4 \geq C_2 + \Delta d_{at}$$

➤ **Synthèse des contraintes géométriques**

On détermine tout d'abord la valeur d_{at} .

$$d_{at} \geq h_p + C_{3,min} + \Delta z_p + \Delta d_{at}$$

$$C_{3,min} = \max \begin{cases} c_1 + h_{s,p} - h_p \\ 3 \phi_s \\ 10mm \end{cases}$$

On définit les valeurs limites des enrobages nominaux permettant de justifier, dans les situations défavorables, un enrobage minimum suffisant vis-à-vis de la classe d'exposition considérée :

$$C_4 \geq C_{min} + \Delta h_t + \Delta d_{at}$$

$$C_2 \geq \begin{cases} C_{min} + \Delta z_p \\ C_{min} + \Delta h_t \end{cases}$$

On vérifie par ailleurs que la position relative de la suspente et de la boîte d'attente sera telle que le brin supérieur de l'attente ne se situera pas au-dessus du retour horizontal de la suspente :

$$C_4 \geq C_2 + \Delta z_p + \Delta d_{at}$$

• 4.2.2 Dimensionnement

La vérification d'effort tranchant est réalisée dans la **configuration N°3** (voir chapitre 4.1.2) en référence à l'article 6.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française. Pour cette vérification, la hauteur utile d est prise égale à :

$$d = \text{Min} [h_1 ; h_2]$$

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 norme NF EN 1992-1-1, de prendre $\gamma_c = 1,45$ au lieu de $\gamma_c = 1,5$.

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.

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

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

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

Des exemples d'applications numériques sont donnés aux chapitres A.II.1 et B.II.1 en annexes.

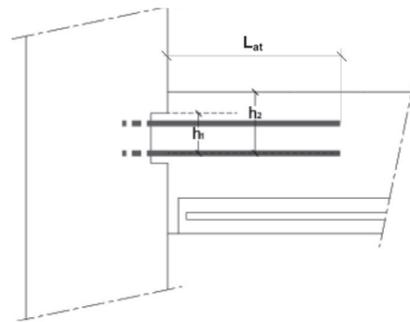


FIGURE 12 - HAUTEUR UTILE POUR LA VÉRIFICATION À L'EFFORT TRANCHANT

➤ **Note :** Pour la vérification à l'effort tranchant ou pour un pré dimensionnement, on utilisera le tableau des capacités résistantes des boîtes d'attentes en début du présent document.

Vis à vis des **brins inférieurs** des attentes, la vérification du moment de flexion est réalisée dans la **configuration N°3**. Le moment de flexion dans la section droite au nu de la suspente est équilibré par les brins inférieurs des attentes (hauteur utile h_2).

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.

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

$$\beta_2 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - d_{s_max})}{l_{bd}} ; 1 \right\}$$

Comme indiqué précédemment, 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.

Des exemples d'applications numériques sont donnés aux chapitres A.II.1.3 et B.II.1.3 en annexes.

➤ **Note :** Pour des armatures scellées, la valeur de $\gamma_s = 1,05$ figurant dans l'Annexe A de la norme NF EN 1992-1-1 est applicable.

D'autre part, l'espacement des brins inférieurs des attentes n'excède pas $3 \cdot h_3$, h_3 étant la hauteur de dalle fictive telle que définie dans la configuration N°3.

Vis à vis des **brins supérieurs** des attentes, la vérification du moment résistant à la flexion est réalisée de manière différenciée suivant le type de boîte d'attente utilisé.

- Pour le type "Standard", on considère la **configuration N°1**, systématiquement défavorable. En l'absence de disposition particulière, la hauteur utile de la section est prise égale à la distance entre l'axe des attentes supérieures et la face supérieure de la prédalle (hauteur notée h_4).

- Pour le type "Spécial Prédalles", on considère les **configurations N°1 et N°5**. Cette dernière pouvant être plus défavorable du fait d'un enrobage réduit, pénalisant la longueur d'ancrage. La hauteur utile de la section est prise égale à la plus grande des valeurs entre la hauteur h_4 définie ci-avant et la distance de l'axe des attentes supérieures au niveau inférieur de la boîte, sans toutefois descendre en-dessous de la sous-face du plancher (hauteur notée h'_4).

Il est nécessaire de vérifier la reprise des moments sur appui (égaux à $0,15 M_i$) par les attentes hautes, assurant le rôle d'armatures en chapeau, sans considérer les attentes basses comme armatures comprimées.

Afin de prendre en compte l'aléa de remplissage de l'angle inférieur lors du bétonnage du plancher, il est nécessaire de prendre $\gamma_c = 1,5$ 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 :

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

Pour la détermination de β_3 , on distinguera les 2 cas suivants :

➤ **1^{er} 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, on pourra 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^e cas :**

L'armature de longueur insuffisante doit être prolongée par une armature complémentaire mise en recouvrement. On fait l'hypothèse que ce recouvrement est réalisé avec des armatures de même diamètre disposées à une distance libre inférieure à 4ϕ ou 50mm. Ces armatures complémentaires viennent jusqu'au nu d'appui avec un enrobage de 10 mm.

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 ($L_{at} - 10$ mm).

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - 10 \text{ mm})}{l_0} ; 1 \right\}$$

Des exemples d'applications numériques sont donnés aux chapitres A.II.2 et B.II.2 en annexes.

➤ **NOTE 1 :** Pour les armatures scellées, la valeur de $\gamma_s = 1,05$ figurant dans l'Annexe A de la norme NF EN 1992-1-1 est applicable.

➤ **NOTE 2 :** La hauteur utile étant localement bien inférieure à la hauteur totale du plancher, une fissure sur appui peut apparaître après mise en service du plancher, malgré le rôle d'armatures en chapeaux joué par les attentes supérieures. Cette fissure est admissible car bien localisée.

➤ **NOTE 3 :** Pour la vérification à la flexion sur appui ou pour un prédimensionnement, on utilisera le tableau des capacités résistantes des boîtes d'attentes en début du présent document.

4.3 Fonctionnement 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.

• 4.3.1 Contraintes géométriques

➤ **Note :** Pour des cas de charges courants, la solution de fonctionnement SANS armature d'effort tranchant (chap. 4.2) s'avère plus favorable. La solution AVEC armatures d'effort tranchant peut présenter un intérêt lorsque la capacité résistante à l'effort tranchant avec le béton seul est dépassée.

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

En complément des exigences définies au chapitre 4.2 ci-dessus, pour justifier d'un fonctionnement avec armatures d'effort tranchant, il faut vérifier l'inégalité : $d_2 \geq d_1$ (Figure 13).

Dans la **configuration N°2**, la membrure horizontale comprimée est supposée appuyée en partie supérieure de la suspente, sa hauteur étant prise égale à 0,25 fois la hauteur utile h_5 (armatures inférieures de la boîte d'attentes).

Pour la détermination de d_1 , il est possible de considérer un angle de bielle (noté β sur la Figure 13) de 45° soit :

$$p = 0,25 \times h_5$$

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

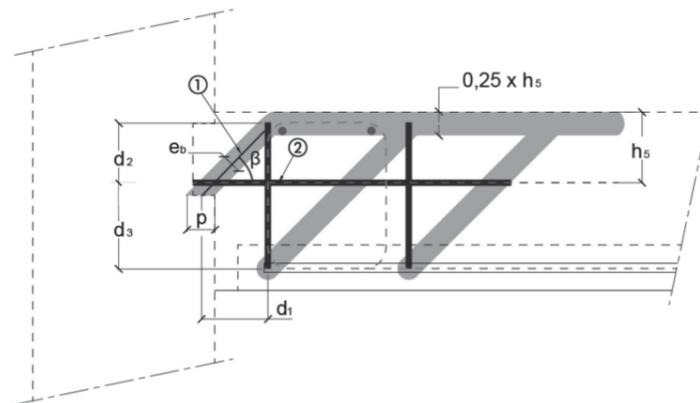
Les valeurs d_1 et d_2 peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

$$d_1 = d_{s_max} + \frac{p}{2} = d_{s_max} + \frac{h_5}{8}$$

avec :

$$h_5 = h_t - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at}$$

$$d_2 = c_1 + h_s - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta z_p - \Delta d_{at}$$



Légende :

- 1 première bielle d'inclinaison β et de largeur e_b
- 2 sous tendeur de la bielle 1
- β angle de bielle
- p projection horizontale de la 1^{re} bielle sur l'appui

FIGURE 13 - FONCTIONNEMENT MÉCANIQUE - SCHÉMA DU TREILLIS À 45°

• 4.3.2 Dimensionnement

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 **configuration N°2**, il convient d'envisager pour le dimensionnement mécanique du nœud, un schéma de type treillis tel que décrit sur les Figure 13 et Figure 14, en vérifiant :

- une géométrie de bielle à 45° ou plus ;
- 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 :

$$e_b = 0,25 \times h_5 / \sqrt{2}$$

Dans le plan transversal, la largeur de cette première bielle est prise égale à 3 fois le diamètre des brins inférieurs des attentes. L'effort dans cette bielle est limité à :

$$3 \times F_{cd} \times e_b \times 3 \times \phi_{at,inf}$$

➤ **Note :** Le terme $3F_{cd}$ correspond à la prise en compte du confinement et le terme $3\phi_{at,inf}$ à la prise en compte de la diffusion.

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 norme NF EN 1992-1-1, de prendre $\gamma_c = 1,45$ au lieu de $\gamma_c = 1,5$.

Lorsque la distance d_3 est inférieure ou égale à 5 cm, en tenant compte des écarts possibles du fait des tolérances (**configuration N°2**), il convient de ne considérer que le schéma de fonctionnement de la Figure 13.

On admet alors que le passage des forces entre les armatures inférieures tendues se fait par la règle des recouvrements d'armatures, ce qui conduit à un recouvrement au moins égal à la longueur d'ancrage plus 5 cm.

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

Dans le cas contraire (d_3 supérieur ou égal à 5 cm), l'effort dans la suspente déterminé conformément au schéma de fonctionnement de la Figure 14 doit être multiplié par

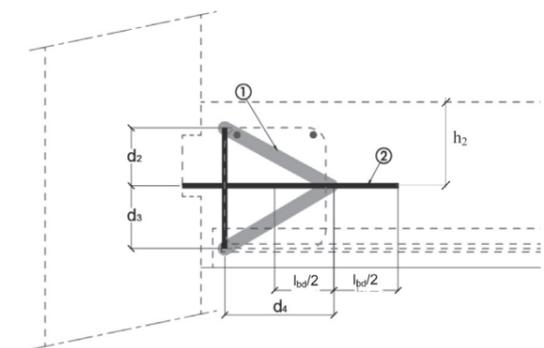
$$1 + \frac{d_1 \times d_3}{d_4 (d_2 + d_3)}$$

afin d'intégrer l'effort induit par l'équilibre des bielles du sous tendeur. On considère que ces bielles s'appuient sur le sous tendeur à une distance de l'extrémité de l'attente inférieure correspondant à la moitié de sa longueur d'ancrage l_{bd} ou la moitié de la longueur dépassant au-delà du brin vertical lorsque celle-ci est inférieure à l_{bd} .

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

➤ **Note :** Pour une bielle à 45° (angle β), cet effort correspond à la réaction d'appui.

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 telle que définie dans la **configuration N°3**.



Légende :

- 1 bielles d'équilibrage du sous tendeur
- 2 sous tendeur

FIGURE 14 - FONCTIONNEMENT MÉCANIQUE - SCHÉMA D'ANCRAGE DU SOUS TENDEUR DE LA PREMIÈRE BIELLE

Le dimensionnement en flexion est identique au cas sans armatures d'effort tranchant (chapitre 4.2).

L'annexe C fournit un exemple d'application.

4.4 Détermination de la hauteur des boîtes d'attentes [h_{at}]

La hauteur des boîtes d'attentes [h_{at}] pour une hauteur quelconque de dalle coulée sur place est égale à :

$$h_{at} = h_c - c_3 - c_4 = h_c - c_{3,min} - c_{min} - \Delta h_t - \Delta z_p - 2 \Delta d_{at}$$

$$\Delta h_t = \Delta z_p = 5 \text{ mm}$$

✚ En classe d'exposition XC1 ($c_{min} = 10 \text{ mm}$), dans le cas d'une prédalle d'épaisseur 5 cm

- avec une suspente de diamètre 6 mm, considérant que $c_{3,min} = 3\phi_s = 18 \text{ mm}$;
- ou une suspente de diamètre 8 mm, avec $c_{3,min} = 10 + 6*8 + 20 - 50 = 28 \text{ mm}$.

✚ En arrondissant les résultats de calculs, on aboutit aux valeurs suivantes :

- cas tolérance $\Delta d_{at} = \pm 15 \text{ mm}$ et suspente de diamètre 6 mm : $h_{at} = h_c - 70 \text{ mm}$
- cas tolérance $\Delta d_{at} = \pm 15 \text{ mm}$ et suspente de diamètre 8 mm : $h_{at} = h_c - 80 \text{ mm}$
- cas tolérance $\Delta d_{at} = \pm 25 \text{ mm}$ et suspente de diamètre 6 mm : $h_{at} = h_c - 90 \text{ mm}$
- cas tolérance $\Delta d_{at} = \pm 25 \text{ mm}$ et suspente de diamètre 8 mm : $h_{at} = h_c - 100 \text{ mm}$

4.5 Prise en compte du retrait gêné

Le retrait gêné doit être pris en compte lors du dimensionnement par le bureau d'études structures, conformément aux dispositions de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française (NF EN 1992-1-1/NA).

✚ NOTE 1 : Des informations complémentaires concernant le retrait gêné figurent dans les recommandations professionnelles sur l'Eurocode 2 parties 1.1 éditées par la FFB.

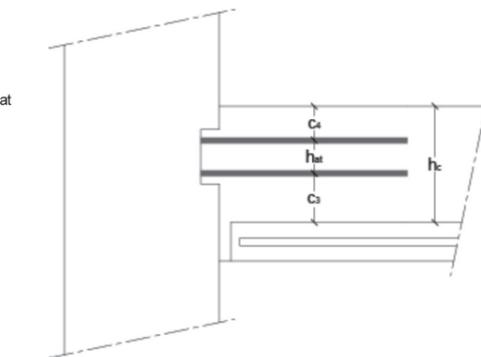


FIGURE 15 - ENROBAGES ET HAUTEUR DES BÔTES D'ATTENTES

On prendra cependant les valeurs de h_{at} indiquées dans le tableau des configurations courantes en chapitre I.

✚ NOTE 2 : L'importance de ce phénomène dépend de la raideur horizontale des supports : superstructure ou infrastructure avec des enceintes-support préexistantes, nature du contreventement... L'utilisation d'un appui suspendu constitue une situation aggravante du fait de la réduction de section dans laquelle la fissuration risque d'apparaître et se développer.

L'étude réalisée doit permettre de retenir les dispositions appropriées et de faire connaître, le cas échéant, au fournisseur des prédalles, les dispositions qui concernent ses études de coffrage et le ferrailage de ses prédalles.

5. ARMATURES DU NŒUD ET DES PRÉDALLES

5.1 Armatures longitudinales et armatures de répartition des prédalles

La transmission des efforts doit être assurée entre l'armature de flexion de la prédalle et le brin horizontal de la suspente intégré dans la prédalle. Les armatures sont ancrées dans la prédalle suivant le principe de l'ancrage actif pour les armatures de précontrainte et suivant le principe usuel d'adhérence pour les armatures passives. Le report de charge entre les armatures principales de flexion et l'armature de la suspente se fait par bielles à 45°.

Des exemples d'application sont donnés en annexe aux chapitres A.I pour les prédalles en béton précontraint et B.I pour les prédalles en béton armé.

Les armatures de répartition perpendiculaires disposées dans la prédalle assurent la couture des bielles. Des armatures complémentaires peuvent cependant être nécessaires. Afin d'assurer la couture des bielles dans la zone de recouvrement des brins horizontaux inférieurs des suspentes avec les armatures longitudinales de la prédalle, il peut être nécessaire de prévoir des armatures (armatures n°4) en complément des armatures de répartition des prédalles.

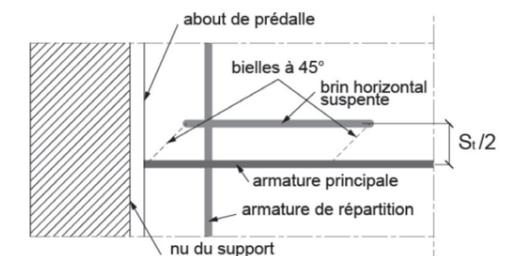


FIGURE 16 - PRINCIPE DE RECOUVREMENT DANS LA PRÉDALLE (VUE DE DESSUS)

Pour une suspente de section unitaire A_s , l'effort N_{Ed} à reprendre a pour valeur : $N_{Ed} = A_s f_{yk} / \gamma_s$ avec $\gamma_s = 1,15$ en combinaison fondamentale et 1,0 en combinaison accidentelle. Ces armatures sont disposées horizontalement et perpendiculairement aux armatures longitudinales des prédalles.

✚ Note : À titre d'exemple, pour des suspentes de diamètre ϕ 6 HA et de limite caractéristique d'élasticité $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$, on disposera au minimum 2 armatures de diamètre ϕ 5 HA.

5.2 Suspentes

Le relevage de la charge doit être réalisé en totalité par le seul brin vertical proche de l'extrémité de la prédalle.

L'armature de suspente doit être pliable-dépliable. Cette aptitude sera mentionnée sur les plans de préconisation de pose du fournisseur des prédalles.

✚ Note : La procédure E4 de décembre 2004 de la certification AFCAB permet de répondre à cette exigence. Les suspentes des prédalles sont livrées pliées.

✚ Note : Lorsque des cunettes se situent le long du support (cas des voiles dans les parkings par exemple), elles seront réalisées par des recharges de béton afin de garantir l'enrobage minimal des suspentes.

5.3 Attentes du support

L'armature d'attente doit être pliable-dépliable. Cette aptitude sera mentionnée sur les documents du fournisseur des attentes.

➤ **Note :** La procédure E4 de décembre 2004 de la certification AFCAB permet de répondre à cette exigence.

Les attentes des voiles (armature n°1) peuvent être réalisées avec des coupleurs, des barres scellées ou des armatures en attente. Elles sont le plus souvent réalisées avec des attentes du commerce.

Les armatures ont une limite caractéristique d'élasticité $f_{yk} = 500$ MPa et leur diamètre varie entre 6 et 12 mm.

Dans les cas des bâtiments courants dont la charge d'exploitation ne dépasse pas 5 kN/m^2 , le diamètre maximal des attentes est de 10 mm.

Le choix des attentes à mettre en œuvre sur chantier est effectué par le bureau d'études structures en tenant compte des préconisations du bureau d'études du préfabricant. Les tableaux de prédimensionnement en chapitre I présentent différentes solutions standard d'attentes (d_{at} et h_{at}) satisfaisant aux exigences du présent Guide.

➤ **Commentaires :** Lorsque des planchers à prédalles suspendues sont prévus des deux côtés d'un même voile, l'utilisation de boîtes d'attentes n'est généralement plus possible. Il est recommandé de prévoir des réservations pour le passage de barres traversantes, le recours au percement est également envisageable. Dans tous les cas, des empochements sont nécessaires pour caler les bielles de béton (encoche rugueuse).

5.4 Filants de renfort dans le béton coulé en œuvre

Les armatures de renfort sont disposées parallèlement au support dans le béton coulé en œuvre. Elles permettent d'armer la bordure de la dalle en flexion et torsion. Les armatures en attente supérieures du support vertical (voile ou poutre) ne correspondant pas systématiquement à celles des suspentes des prédalles, ces filants de renfort peuvent également

contribuer au report des charges entre les axes de suspentes et les attentes dans le support.

➤ **Note :** Dans les cas courants, avec des aciers de limite caractéristique d'élasticité $f_{yk} = 500$ MPa, on retient 2 HA 8 filants en partie supérieure.

5.5 Cas particulier des suspentes avec rehausse

Si les suspentes sont rehaussées par des cadres, un recouvrement effectif vertical de $10\phi_s$ entre suspentes et cadres doit être respecté. D'autre part, il convient de limiter à 4ϕ ou à 50 mm la distance libre entre la suspenste et le cadre.

Si cette condition n'est pas satisfaite, il convient d'augmenter la longueur de recouvrement d'une valeur égale à la distance libre entre les barres.

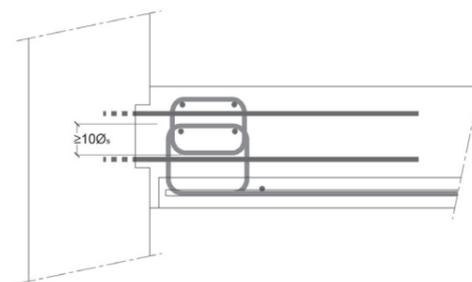


FIGURE 17 – RECOUVREMENT VERTICAL MINIMUM ENTRE CADRES DE REHAUSSE DE SUSPENTES ET SUSPENTES

5.6 Armatures de liaison entre les prédalles et les rives non porteuses

Lorsque les dalles sont calculées portant dans une seule direction et que les charges appliquées (hors poids propre) sont inférieures à 7 kN/m^2 , les prédalles ne comportent ni suspentes ni coutures sur les rives non porteuses.

Les armatures de liaison sont dimensionnées conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française (NF EN 1992-1-1/NA).

➤ **Commentaires :** Dans les cas courants (épaisseur de plancher ≤ 25 cm), il sera disposé un minimum de trois attentes HA 6 par mètre dans le support.

6. DISPOSITIONS PARASISMIQUES

Le cas des planchers suspendus avec boîtes d'attentes en zone sismique n'est pas traité dans le présent document. Cette application devrait l'être par

la CN/PS (Commission Nationale ParaSismique) sur proposition du groupe de suivi de l'Eurocode 8 partie 1 (NF EN 1998-1).

7. PRINCIPES DE MISE EN ŒUVRE

7.1 Généralités

La mise en œuvre de planchers à prédalles suspendus nécessite une attention particulière avec l'établissement de procédures de contrôle et de traitement de non conformité, permettant le suivi et la traçabilité de la conformité aux dispositions des présentes recommandations.

Les boîtes d'attentes doivent être choisies et positionnées conformément aux plans du bureau d'études structures. Ces plans indiquent en particulier :

- le type de boîte d'attentes à utiliser (hauteur de boîte, encombrement vertical, diamètre, espacement et longueur des armatures) ;
- l'implantation verticale de la boîte d'attentes (par rapport à la face inférieure ou supérieure du plancher) ;
- l'enrobage minimum compte tenu de la classe d'exposition ;
- la tolérance retenue pour l'implantation verticale des attentes ;
- la hauteur des suspentes ;
- la distance maximale entre le brin avant de la suspenste et le nu de l'élément porteur ;
- les armatures complémentaires de renforts à introduire dans les suspentes (diamètre et position) ;

- les autres armatures à ajouter dans le nœud.

Des plans de détail précis du nœud, accompagnant les plans de ferrailage des supports, sont élaborés par le bureau d'études structures, avec une échelle de $\frac{1}{2}$ au minimum. Les dispositions y figurant tiennent compte des préconisations définies par le fournisseur des prédalles.

Le fournisseur de prédalles fait figurer sur ses plans un renvoi au présent Guide d'application qui traite des cas les plus courants ainsi qu'un nota particulièrement visible sur la qualité d'exécution et sur les tolérances à respecter, conditions indispensables pour une bonne réalisation de ce type d'appui.

➤ **De plus, l'industriel fournit :**

- des coupes types des différentes configurations géométriques couvertes par le plan, complétées par un tableau précisant les côtes nécessaires à la réalisation de ces assemblages : position verticale et encombrement des attentes ;
- le détail des cas particuliers non couverts par le présent Guide.

7.2 Préparation avant coulage du plancher

Avant la mise en œuvre des prédalles, il est nécessaire de vérifier par rapport au plan de préconisation de pose du fournisseur de prédalles :

- ✎ la longueur des prédalles ;
- ✎ pour les suspentes, l'enrobage par rapport à l'about de la prédalle (supérieur ou égal à 10mm), la position, la hauteur et l'état ;
- ✎ le façonnage des suspentes (livrées prépliées).

✎ **Note :** La certification "Marque NF" ou équivalent vaut la preuve du respect de ces exigences.

1. Lorsque des boîtes d'attentes sont utilisées, l'entreprise met en place les boîtes d'attentes et coule le support de façon à garantir le respect des tolérances d'implantation indiquées au chapitre 4.1.1 du présent document. La mise en place des boîtes d'attentes, peut être réalisée par exemple suivant les solutions ci-après, prises individuellement ou combinées :

- ✎ par fixation directe sur le coffrage, par exemple au moyen d'aimants spécifiques au procédé de boîtes d'attentes retenu ;
- ✎ par ligature avec le ferrailage vertical ;
- ✎ par mise en place d'entretoises améliorant le maintien des boîtes.

2. L'entreprise met en place le dispositif d'étaielement conformément aux prescriptions et s'assure de sa stabilité.

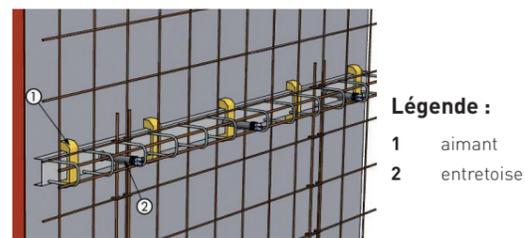


FIGURE 18 - EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE DE BOÎTE D'ATTENTES

3. L'entreprise pose les prédalles sur le dispositif d'étaielement, en s'assurant que la distance d_5 mesurée sur chantier entre les suspentes et le nu intérieur du support est inférieure à la valeur figurant sur les plans de préconisation de pose du fournisseur de prédalle. Dans les courants, la valeur maximale pour d_5 mesurée sur chantier est égale à :

- 45 mm dans le cas de plancher à prédalles suspendu à une seule extrémité ;
- 65 mm dans le cas de plancher à prédalles suspendu aux deux extrémités.

4. Elle procède éventuellement au piquage du support lorsque des armatures sont scellées a posteriori.

5. Elle ouvre le capot de protection des attentes lorsque des boîtes d'attentes sont utilisées ou procède au scellement des attentes a posteriori.

6. **A l'avancement**, au moyen d'outils adaptés et selon la configuration, elle redresse les attentes à l'horizontale et redresse les suspentes, sans oublier d'enlever si besoin les fonds de boîtes conformément aux prescriptions du fournisseur de boîtes d'attentes.

✎ **Note :** Ces redressages sont effectués suivant un scénario tenant compte de l'espacement relatif des différentes armatures.

Le redressage est considéré satisfaisant lorsque l'armature de diamètre \emptyset s'inscrit à l'intérieur d'un cylindre virtuel de diamètre $2\emptyset$.

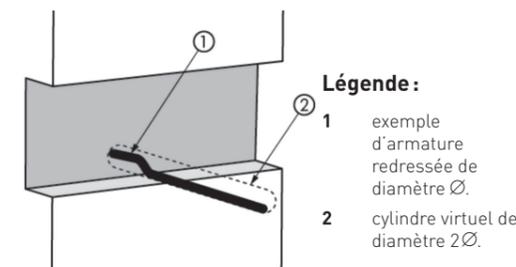
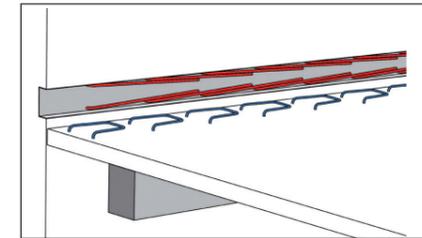


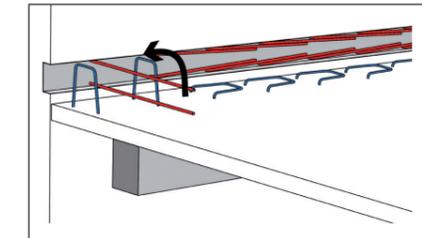
FIGURE 19 - DÉFORMATION MAXIMALE POUR LES ARMATURES REDRESSÉES

7. L'entreprise met en place les filants de renfort en partie supérieure, pour venir au contact du retour horizontal des suspentes.

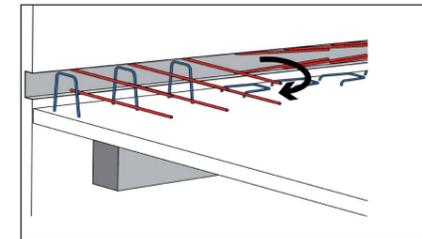
Pose de la prédalle et ouverture du capot de protection des attentes



Redressage des suspentes à l'avancement



Redressage des attentes à l'avancement



Mise en place des filants de renfort

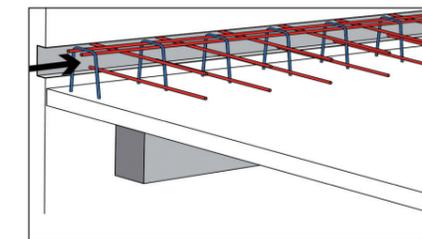


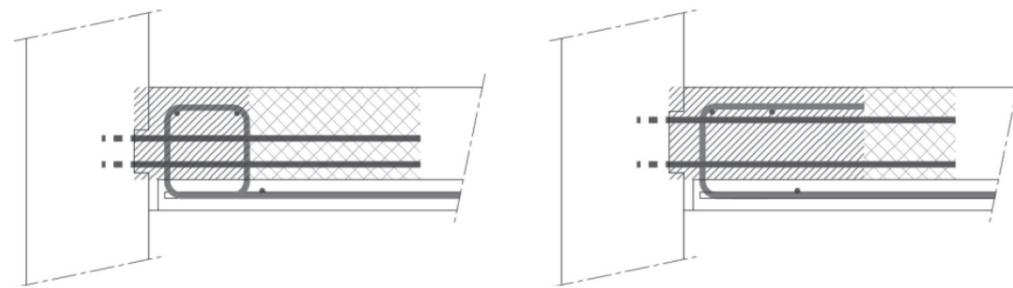
FIGURE 20 - ILLUSTRATION DES DIFFÉRENTES PHASES DE MISE EN ŒUVRE DES PRÉDALLES

Les armatures des prédalles et les attentes, ne doivent subir qu'un seul dépliage à l'aide d'outils ou de mandrins assurant un diamètre de cintrage minimum de 4 fois le diamètre.

Aucune réservation noyée filante, aucune gaine ou tube ne doit être placé parallèlement à l'appui, dans la partie de dalle coulée en place se situant entre le nu de l'appui et l'extrémité des suspentes (voir Figure 21). Dans le cas de suspentes eu U, c'est l'extrémité libre du retour horizontal de ce U qui limite l'espace interdit.

Toute réservation noyée filante dans la partie de dalle coulée entre l'extrémité des suspentes et l'extrémité des attentes doit être portée à la connaissance du bureau d'étude d'exécution qui doit statuer sur sa faisabilité.

Toute réservation localisée (tube, tuyau, gaine, etc.) disposée perpendiculairement à l'élément porteur et/ou à la prédalle dans la zone d'ancrage des attentes, doit être portée à la connaissance du bureau d'étude d'exécution qui doit statuer sur sa faisabilité.



Légende :

Zone sans réservation, gaine ou tube parallèle à l'appui.

Zone avec réservation, gaine ou tube parallèle à l'appui soumis à l'approbation du bureau d'étude d'exécution.

FIGURE 21 – ZONE (HACHURÉE) SANS RÉSERVATION, GAINÉ OU TUBE EN FONCTION DU TYPE DE SUSPENTE

7.3 Contrôle avant coulage du plancher

Avant le coulage du plancher, le responsable chargé de l'exécution doit vérifier :

- que toutes les suspentes de la prédalle sont relevées ;
- que toutes les attentes du support sont dépliées ;
- que les éventuels piquages ont été correctement exécutés lorsque des armatures sont scellées a posteriori ;
- que toutes les armatures du nœud sont positionnées conformément aux détails indiqués sur les plans d'exécution établis par le bureau d'études structures (des exemples types sont représentés en Figure 3) et en particulier :
 - que le retour horizontal des suspentes ne se trouve pas en dessous du niveau des armatures hautes sortant horizontalement des boîtes d'attentes ;
 - que les boîtes d'attentes sont situées à la bonne altitude en regard du trait de niveau du plancher fini ;

Note : Lorsque des boîtes d'attentes sont utilisées, l'altitude de référence pour juger, in fine, du bon positionnement des boîtes est celle visible après décoffrage des banches et avant redressage des attentes. Seules les rives hautes et basses des boîtes sont alors visibles avec certitude.

Note : On peut, par exemple choisir comme niveau de référence le niveau dans l'axe des boîtes. Les cotes de fabrication des boîtes permettent ensuite de relier ce niveau de référence à celui de la fibre inférieure des attentes basses et de la fibre supérieure des attentes hautes à leur sortie de boîte. Le respect des tolérances est à vérifier sur ces niveaux.

- que la distance libre effective "d_s" (voir Figure 22) entre les suspentes et le nu intérieur des éléments porteurs contenant les boîtes d'attentes est correcte ; dans les cas courants, cette distance est au plus de 65 mm pour une prédalle suspendue à ses deux extrémités et de 45 mm pour une prédalle suspendue à une seule de ses extrémités ;

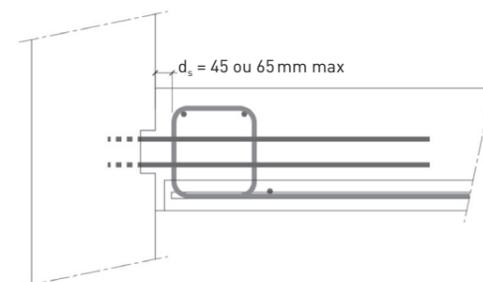
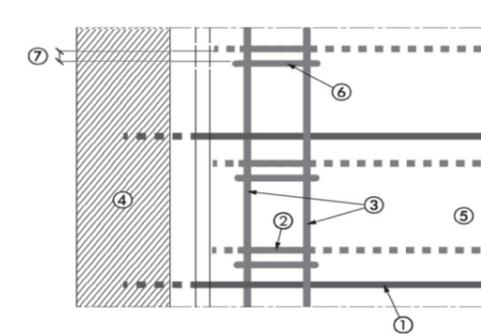


FIGURE 22 – DISTANCE MAXIMALE EFFECTIVE ENTRE LES SUSPENTES ET LE NU INTÉRIEUR DU SUPPORT

- que l'enrobage minimal vis-à-vis de la classe d'exposition est respecté, particulièrement pour le retour horizontal de la suspenste et pour les armatures supérieures de la boîte d'attente ;
- que l'enrobage de l'attente inférieure est d'au moins 10 mm par rapport à la face supérieure de la prédalle ;
- que les filants de renforts sont positionnés en partie haute des cadres formés par les suspentes ;
- de façon générale, que toutes les tolérances d'implantation sont respectées (voir chapitre 4.1.1).

Si les suspentes sont rehaussées par des cadres (Figure 17), un recouvrement effectif vertical de $10\phi_s$ entre suspentes et cadres doit être respecté. D'autre part, il convient de limiter à 4ϕ ou à 50 mm la distance libre entre la suspenste et le cadre (Figure 23). Si cette condition n'est pas satisfaite, il convient d'augmenter la longueur de recouvrement d'une valeur égale à la distance libre entre les barres.



Légende :

- 1 attentes
- 2 suspentes
- 3 filants de renfort
- 4 voile
- 5 prédalle
- 6 cadres (ou armature en U) en rehausse de suspentes
- 7 distance libre entre suspenste et cadre en rehausse ($\leq 4\phi$ ou 50 mm pour un recouvrement de $10\phi_s$)

FIGURE 23 – RECOUVREMENT VERTICAL MINIMUM ENTRE CADRES DE REHAUSSE DE SUSPENTES ET SUSPENTES

Ce contrôle doit être consigné et permet de déclencher l'opération de coulage du plancher. Si une non-conformité est constatée, il appartient au bureau d'études de l'entreprise de gros œuvre de définir les solutions techniques appropriées (par exemple ajustement des niveaux de la dalle et/ou dépose des prédalles, ripage des prédalles, ajout de ferrailages en renforcement, scellement in situ de nouvelles attentes, etc....).

✎ **Trois cas peuvent donc se rencontrer :**

- acceptation en l'état compte tenu des justifications appropriées ;
- mise en œuvre de mesures correctives avec les justifications appropriées comme par exemple : mise en place d'une rehausse de suspentes (voir exemple Figure 3), scellement d'armatures a posteriori... ;
- refus d'acceptation et mise au rebut des éléments défectueux.

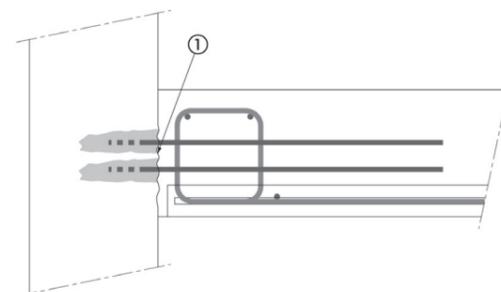


FIGURE 24 - EXEMPLES DE SCHELLEMENT A POSTERIORI

Légende :

- 1 surface rendue rugueuse (piquage)

7.4 Dispositions après coulage du plancher

Après coulage du plancher, l'enlèvement des étais du plancher ne peut avoir lieu que lorsque la résistance du béton est suffisante, compte tenu des sollicitations de l'ouvrage.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Recommandations professionnelles concernant les dalles à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes. Collection Recherche Développement Métier, SEBTP, Novembre 2009.

[2] Recommandations professionnelles pour l'application de la norme NF EN 1992-1-1 (NF P 18-711-1) et de son annexe nationale (NF P 18-711-1/NA-Eurocode 2 partie 1-1) relatives au calcul des structures en béton. Collection Recherche Développement Métier, SEBTP, Septembre 2007.

[3] NF EN 13747, (P19-809), Produits préfabriqués en béton - Prédalles pour systèmes de planchers.

[4] NF EN 1998-1 (P 06-030-1), Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.

[5] NF EN 1998-1/NA (P 06-030-1), Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Annexe Nationale à la norme NF EN 1998-1.

[6] NF EN 1992-1-1 (P 18-711-1), Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments.

[7] NF EN 1992-1-1/NA (P 18-711-1), Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe Nationale à la norme NF EN 1992-1-1.

[8] NF EN 13670, Exécution des structures en béton.

[9] Procédure E4, Vérification de l'aptitude au redressage après pliage d'un acier pour béton armé. AFCAB.

ANNEXE A - EXEMPLE POUR UN PLANCHER À PRÉDALLES PRÉCONTRAINES SANS ARMATURES D'EFFORT TRANCHANT

Soit un plancher de 20 cm d'épaisseur totale, de 5,50 m de portée composé de prédalles de 5 cm d'épaisseur en béton de classe C40/50, précontraintes avec 9 torons T5,2-2060-TBR par mètre. Le béton coulé en place est de classe C25/30 et la hauteur utile est égale à 18 cm. On admettra une tolérance fine de positionnement de la boîte d'attentes ($\Delta d_{at} = \pm 15$ mm), une classe d'exposition XC2 et une prédalle suspendue aux 2 extrémités.

Les charges appliquées sont les suivantes :

- charges permanentes : $G = 2,0$ kN/m² (hors poids propre);
- charges d'exploitation : $Q = 1,5$ kN/m².

Déterminons le type de boîte d'attentes à partir du tableau donné au chapitre I pour une longueur de l'armature égale à 40ϕ .

$$p = (1,35 \times (5+2) + 1,5 \times 1,5) = 11,7 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Ed} = p \cdot \frac{L}{2} = 11,7 \times \frac{5,5}{2} = 32,175 \text{ kN/m}$$

$$5,15 \times M_t = 5,15 \cdot p \cdot \frac{L^2}{8} = 5,15 \times 11,7 \times \frac{5,5^2}{8} = 6,636 \text{ kN.m/m}$$

Nous examinons dans un premier temps la solution avec boîte d'attentes de type "Standard". La boîte d'attentes préconisée est constituée d'armatures $\phi 8$ avec $h_{at} = 50$ mm, disposées à l'espacement de 150 mm. Elle est positionnée dans le voile de telle sorte que $d_{at} = 95$ mm.

A I. Dimensionnement des suspentes

Il s'agit de déterminer la section et la longueur nécessaire des suspentes dans la prédalle précontrainte.

Les armatures sont ancrées dans la prédalle suivant le principe de l'ancrage actif pour les armatures de précontrainte (clause 8.10.2.3 de la norme NF EN 1992-1-1, loi bi-linéaire) et suivant le principe usuel

d'adhérence pour les armatures passives (clause 8.4.3 de la norme NF EN 1992-1-1).

Nous chercherons à déterminer l'abscisse x_0 pour laquelle le moment appliqué et le moment résistant sont égaux, le moment résistant étant calculé en considérant les seules armatures principales de la prédalle.

A I 1. Détermination de l'espacement des suspentes

Reprise de l'effort tranchant :

$$A_s = \frac{V_{Ed}}{f_{yk} / \gamma_s} = \frac{32,175 \times 10^3}{500 / 1,15} = 74 \text{ mm}^2$$

Soit un nombre de suspentes de diamètre

$$\phi 6 \text{ HA} = 74 / 28,3 = 2,61 \text{ u/m.}$$

Il faut retenir soit un nombre de suspentes de diamètre $\phi 6$ HA par mètre.

A I 2. Moment résistant

Dans la prédalle, les armatures de précontrainte sont supposées s'ancrer de façon bi-linéaire à partir de l'about et sur la longueur maximale de scellement l_{pt2} (Figure A.1). La valeur de l'effort ancré mobilisable à une abscisse x de l'about de la prédalle s'écrit :

$$F_a(x) = x \cdot \frac{F_{pm}}{l_{pt2}} \quad (1)$$

avec :

F_{pm} = effort de précontrainte à temps infini (après pertes);

$l_{pt2} = 1,2 l_{pt}$: longueur maximale de transmission;

x = abscisse de la section, comptée à partir de l'about de la prédalle.

Le calcul de la valeur de référence de la longueur de transmission l_{pt} s'effectue à partir des caractéristiques du béton de la prédalle à la mise en précontrainte et de la force de précontrainte au relâchement.

$$l_{pt} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0}}{f_{bpt}}$$

(formule 8.16 de la norme NF EN 1992-1-1)

avec :

$$\alpha_1 = 1,0;$$

$$\alpha_2 = 0,25 \text{ pour les fils et } 0,19 \text{ pour les torons.}$$

Nous prendrons pour hypothèses :

$f_{ck} = 20$ MPa au relâchement (valeur minimale);

$\gamma_c = 1,35$ dans le cas de prédalles bénéficiant d'une certification NF ou équivalent;

F_{pr} : tension au relâchement, prise égale à $0,9 F_{p0}$ avec

$$F_{p0} = 0,95 F_{p0,p1k} \rightarrow \sigma_{pm0} = 0,95 F_{p0,p1k}$$

Pour l'évaluation de la force de tension finale des armatures, nous retiendrons forfaitairement.

$$F_{pm} = 0,80 F_{p0}.$$

Le tableau ci-dessous fournit les résultats de calculs pour les types d'armatures utilisés couramment en prédalles. Les armatures de précontrainte sont supposées de classe 1770 TBR pour les $\phi 5$ et $\phi 7$ et de classe 2060 TBR pour les torons T5,2 et T6,85.

Précontrainte	$F_{p0,1k}$	F_{pk}	l_{pt}	$l_{pt2} = 1,2 l_{pt}$	F_{pm}
$\phi 5$ -1770-TBR	30,5 kN	34,7 kN	536 mm	643 mm	23,2 kN
$\phi 7$ -1770-TBR	59,9 kN	68,1 kN	753 mm	904 mm	45,5 kN
T5,2-2060-TBR	24,9 kN	28,0 kN	422 mm	506 mm	18,9 kN
T6,85-2060-TBR	51,7 kN	58,1 kN	556 mm	667 mm	39,3 kN

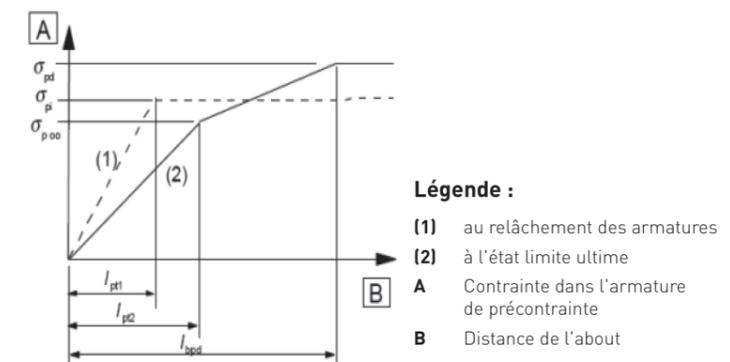


FIGURE A.1 - COURBE D'ÉTABLISSEMENT DE LA PRÉCONTRAINTE

Le moment résistant du plancher par mètre de largeur, à une abscisse x distante de l'about s'écrit, en fonction du nombre d'armatures actives de flexion

de la prédalle n_f et de la hauteur utile d du plancher, sous la forme suivante :

$$M_{Rd}(x) = n_f \cdot F_a(x) \cdot (0,9d) \quad (2)$$

• A I 3. Moment sollicitant

En négligeant la distance séparant l'about de la prédalle de l'appui (20 mm), le moment appliqué à l'abscisse x peut s'écrire sous la forme suivante, en

tenant compte de la règle du décalage pour la concomitance flexion - effort tranchant (clause 9.2.1.3 (2) de la norme NF EN 1992-1-1):

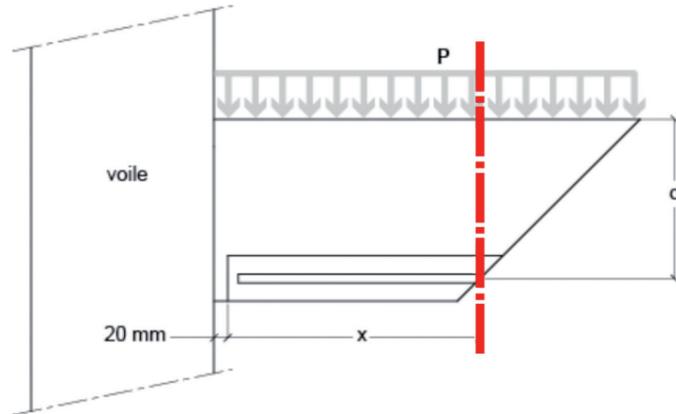


FIGURE A.2 - RÈGLE DU DÉCALAGE

$$M_{Ed}(x) = p \cdot (x + d) \cdot \frac{L - (x + d)}{2}$$

en notant $V_{Ed} = p \cdot \frac{L}{2}$, l'équation ci-dessous devient:

$$M_{Ed}(x) = V_{Ed} \cdot (x + d) - \frac{p \cdot (x + d)^2}{2}$$

où V_{Ed} représente l'effort tranchant calculé à l'abscisse $x=0$ sous la charge uniforme p à l'état limite ultime (charges permanentes + surcharges).

• A I 4. Détermination de la longueur de recouvrement des armatures de précontrainte et des armatures de suspente

Soit x_0 l'abscisse de la section où l'armature de précontrainte est suffisante pour satisfaire l'équilibre des moments. Elle s'obtient en écrivant l'égalité du moment sollicitant avec le moment résistant en zone d'extrémité.

On obtient, en écrivant l'égalité $M_{Ed}(x) = M_{Rd}(x)$ et en remplaçant $F_a(x)$ par l'équation (1), une équation du second degré de la forme :

$$A x^2 + B x + C = 0$$

avec :

$$A = -p/2$$

$$B = V_{Ed} - p \cdot d - N_f \cdot F_{pm}/l_{pt2} \cdot 0,9d$$

$$C = V_{Ed} \cdot d - p/2 \cdot d^2$$

La solution est donnée par la racine minimale de cette équation :

$$x_0 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A \cdot C}}{2A}$$

➤ Première condition :

Soit s_t l'espacement des suspentes. La longueur de recouvrement du brin horizontal de la suspente (armatures passives) avec les armatures de précontrainte doit être supérieure ou égale à $(x_0 + s_t/2)$.

➤ Deuxième condition :

La longueur d'ancrage droit du brin horizontal de la suspente doit être supérieure ou égale à la longueur d'ancrage de calcul l_{bd} augmentée du demi espacement des suspentes s_t .

La longueur d'ancrage de calcul l_{bd} des armatures passives est prise égale, par sécurité, à la longueur d'ancrage droit de référence $l_{b,rgd}$. Pour des armatures de résistance caractéristique $f_{yk} = 500$ MPa, et pour les classes de béton couramment utilisées pour les prédalles, ces longueurs sont égales à :

Béton de la prédalle	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
$l_{b,rgd}$	40 \varnothing	36 \varnothing	32 \varnothing	30 \varnothing
$l_{suspente}$	40 $\varnothing + s_t/2$	36 $\varnothing + s_t/2$	32 $\varnothing + s_t/2$	30 $\varnothing + s_t/2$

En conclusion, la longueur du brin horizontal des suspentes dans une prédalle, avec un béton de classe 40/50, doit donc être telle que :

$$L \text{ (mm)} \geq \text{Max} [(x_0 + s_t/2) + (30\varnothing + s_t/2)]$$

➤ Appliqué à l'exemple, on a :

Charges appliquées à l'ELU

$$p = 1,35 \cdot (0,2 \cdot 25 + 2) + 1,5 \cdot (1,5) = 11,7 \text{ KN/m}^2$$

L'effort tranchant sollicitant

$$V_{Ed} = 11,7 \cdot 5,5/2 = 32,175 \text{ KN}$$

Le moment sollicitant à l'abscisse x :

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot (x + d) - p \cdot (x + d)^2/2$$

avec : $d = 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$

$$p = 11,7 \text{ KN}$$

Le moment résistant à l'abscisse x :

$$M_{Rd}(x) = N_f \cdot F_a(x) \cdot 0,9d$$

avec : $N_f = 9$ torons

$$F_a(x) = x \cdot F_{pm}/l_{pt2} = x \cdot 18,9/506 \text{ pour des torons T5,2-2060-TBR}$$

$$d = 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

En posant $M_{Ed}(x) = M_{Rd}(x)$, on obtient une équation du second degré de type $Ax^2 + Bx + C = 0$

$$\text{soit : } A = -p/2 = -5,85$$

$$B = V_{Ed} - p \cdot d - N_f \cdot F_{pm}/l_{pt2} \cdot 0,9d = -24,38$$

$$C = V_{Ed} \cdot d - p/2 \cdot d^2 = 5,6$$

$$x_0 = (-B - \sqrt{B^2 - 4AC}) / 2A$$

$$x_0 = 0,22 \text{ m} = 220 \text{ mm}$$

La valeur minimale de recouvrement des suspentes $\varnothing 6$ HA avec les armatures de précontrainte est donc égale à :

$$l = \text{Max} (220 + 125 ; 30 \times 6 + 125) = 345 \text{ mm.}$$

A II. Dimensionnement des attentes

• A II 1. Vérification de la résistance à l'effort tranchant

La capacité résistante à l'effort tranchant est limitée par :

- la capacité de résistance au cisaillement du béton de la dalle $V_{Rdc,box}$;
- la capacité d'ancrage de la boîte d'attente $V_{Rds,ancrage}$;
- la capacité à équilibrer le moment positif au croisement avec la suspente $V_{Rds,Mpos}$.

Pour calculer l'effort tranchant résistant, on prendra en compte le minimum des 3 valeurs que l'on comparera à l'effort tranchant sollicitant.

Pour définir les hauteurs d_{at} et h_{at} , on utilisera le tableau des configurations courantes du chapitre I du présent document. Considérant dans un premier temps que la boîte est de type "Standard", nous examinerons ensuite le cas du type "Spécial Prédalles".

▣ Vérification de la hauteur de la boîte d'attentes

$$V_{Rdc,box} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

avec :

$$v_{min} = 0.34 \frac{f_{ck}^{1/2}}{\gamma_c}$$

pour une dalle bénéficiant d'un effet de redistribution transversale,

où $\gamma_c = 1.45$

σ_{cp} prend en compte la contrainte normale dans la dalle, donc $\sigma_{cp} = 0$

$b_w = 1 \text{ m}$

$d_{at} = \min(h_1; h_2)$

Dans cet exemple, pour une dalle de 20cm avec une classe d'exposition XC2 et un $\Delta d_{at} = \pm 15 \text{ mm}$, d'après le tableau des configurations courantes on a $h_{at} = 50 \text{ mm}$. On considère une boîte d'attentes Standard avec des attentes $\phi 8$ à l'espacement de 150mm :

$$d = h_{at} + u_1 - \frac{\phi_{at}}{2} = 50 + 5 - \frac{8}{2} = 51 \text{ mm}$$

$$V_{min} = 0.34 \cdot 25^{1/2} / 1.45 = 1,172 \text{ MPa}$$

d'où :

$$V_{Rdc,box} = 1,172 \cdot 1000 \cdot 51 \cdot 10^{-3} = 59,8 \text{ kN}$$

▣ Vérification de l'ancrage de l'attente inférieure

Effort à reprendre : $V_{Ed} = 32,18 \text{ kN/m}$

La capacité résistante à l'ancrage de la boîte d'attentes constituée d'armatures HA 8 disposées à l'espacement s_t est égale à :

$$V_{Rds,ancrage} = A_{s,at} \times \beta_1 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

avec :

$$A_{s,at} = \frac{\pi \phi_{at}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50.3 \text{ mm}^2$$

β_1 coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature.

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

L_{at} longueur de dépassement de l'attente inférieure par rapport au support.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,req}$$

$$l_{b,req} = \frac{\phi_{at} \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$$

et

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} = 2.25 \times 1.0 \times 1.0 \times \frac{1.8}{1.5} = 2.7 \text{ MPa}$$

$$l_{b,req} = \frac{\phi_{at} \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{(500/1.15)}{4 \times 2.7} \phi_{at} = 40.26 \phi_{at} \approx 40 \phi_{at}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}}$$

avec :

$$c_d = \min \left(\frac{a}{2}; c \right)$$

reprenant les notations de l'article 8.4.4 de la NF EN 1992-1-1

$$c = d_{at} - \Delta d_{at}$$

Appliqué à cet exemple, on aura :

$$c_d = \min \left(\frac{100-8}{2}; (95-15) \right) = 71 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0.15 \frac{71-8}{8} = -0.18 < 0.70$$

$$\alpha_2 = 0.70$$

$$l_{bd} = 0.70 \times l_{b,req} = 0.70 \times 40 \times \phi_{at} = 0.70 \times 40 \times 8 = 224 \text{ mm}$$

$$L_{at} = L_d - p = L + 0.9 \phi_{at} - p \approx 41 \phi_{at} - 30 \text{ mm} = 298 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = \text{min} \left\{ \frac{298}{224}; 1 \right\} = 1$$

$$V_{Rds,ancrage} = A_{s,at} \times \beta_1 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \times 1 \times \frac{500}{1.15} \times \frac{1}{150} = 145.7 \text{ kN/m}$$

▣ Vérification de la capacité à équilibrer le moment positif au croisement avec la suspente

$$V_{Rds,Mpos} = \frac{M_{R,positif}}{d_{s,max}}$$

avec :

$$M_{R,positif} = F_{Rs,positif} \times Z_{u,positif}$$

$$F_{Rs,positif} = A_{s,at} \times \beta_2 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

β_2 coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature

$$\beta_2 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - d_{s,max})}{l_{bd}} ; 1 \right\}$$

$d_{s,max} = 65 \text{ mm}$ (dans le cas d'une prédalle suspendue aux 2 extrémités)

Le bras de levier :

$$z_{u, \text{pos}} = h_2 - 0.5 \frac{F_{Rs, \text{pos}}}{f_{ck} / \gamma_c} \quad \text{avec } \gamma_c = 1.45$$

h_2 tel que défini au §4.1.2 dans la configuration n°3, soit :

$$h_2 = h_t - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at} - \Delta h_t$$

Dans cet exemple, pour une dalle de $h_t = 20 \text{ cm}$, avec une classe d'exposition XC2 et $\Delta d_{at} = \pm 15 \text{ mm}$, d'après le tableau des configurations courantes on a $d_{at} = 95 \text{ mm}$.

$$h_2 = 200 - 95 - \frac{8}{2} - 15 - 5 = 81 \text{ mm}$$

$$\beta_2 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - d_{s,max})}{l_{bd}} ; 1 \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{(298 - 65)}{224} ; 1 \right\} = 1$$

$$F_{Rs, \text{pos}} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \times 1 \times \frac{500}{1.15} \times \frac{1}{100} = 145.7 \text{ kN/m}$$

$$z_{u, \text{pos}} = 81 - 0.5 \frac{145.7}{25/1.45} = 76.77 \text{ mm}$$

$$M_{R, \text{pos}} = F_{Rs, \text{pos}} \times z_{u, \text{pos}} = 145.7 \times 76.77 \cdot 10^{-3} = 11.19 \text{ kN m/m}$$

$$s_{s, \text{Mpos}} = \frac{M_{R, \text{pos}}}{d_{s,max}} = \frac{11.19}{65 \cdot 10^{-3}} = 172.1 \text{ kN/m}$$

Effort tranchant maximum admissible :

$$V_{Rd} = \text{Min} \{ V_{Rdc, \text{box}} ; V_{Rds, \text{ancrage}} ; V_{Rds, \text{Mpos}} \} = \text{Min} \{ 59.8 ; 145.7 ; 172.1 \} = 59.8 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd} \leq V_{Ed}$; Les boîtes d'attentes choisies sont donc bien vérifiées à l'effort tranchant. La capacité résistante est celle affichée dans les tableaux du chapitre I.

■ Vérification de l'espacement maximum des attentes

L'espacement des attentes inférieures est limité à $3 h_3$, h_3 étant défini en configuration n°3.

$$h_3 = h_t - d_{at} - \Delta h_t - \Delta d_{at} + 10 \text{ mm}$$

$$h_3 = 200 - 95 - 5 - 15 + 10 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 3 \times 95 = 285 \text{ mm}$$

• A II 2. Vérification de l'attente supérieure

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimal en rive égal à $0,15^*$ le moment en travée M_t en configuration n°1 (la plus défavorable) :

$$M_{R, \text{neg}} \geq 0.15 \times M_t \quad \text{avec : } M_{R, \text{neg}} = F_{Rs, \text{neg}} \times z_{u, \text{neg}}$$

$$F_{Rs, \text{neg}} = A_{s, \text{at}} \times \beta_3 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

β_3 coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature.

On distinguera les 2 cas suivants :

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

- ou à l'inverse, l'armature de longueur insuffisante nécessite un recouvrement. On 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 . Considérant par ailleurs que les armatures complémentaires viennent jusqu'au nu d'appui de la prédalle avec un enrobage de 10 mm .

■ **Note :** En l'absence de justification particulière, on pourra considérer que la longueur de l'armature est suffisante lorsqu'elle est au moins égale au dixième de la portée.

Dans le premier cas, le coefficient est calculé en considérant la capacité d'ancrage au-delà du nu d'appui.

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

Dans le second cas, 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 ($L_{at} - 10 \text{ mm}$).

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - 10 \text{ mm})}{l_0} ; 1 \right\}$$

en notant par ailleurs que $l_0 = \alpha_6 \times l_{bd} = 1.50 \times l_{bd}$, avec 100% d'armatures recouvertes.

La hauteur h_4 est définie au § 4.1.2 dans la configuration n°1.

$$h_4 = d_{at} + h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - h_p - \Delta d_{at} - \Delta z_p$$

Le bras de levier

$$z_{u, \text{neg}} = h_4 - 0.5 \frac{F_{Rs, \text{neg}}}{f_{ck} / \gamma_c}$$

avec :

$$\gamma_c = 1.50$$

■ **Application numérique à l'exemple :**

$$h_4 = 95 + 50 - \frac{8}{2} - 50 - 15 - 5 = 71 \text{ mm}$$

On calcule la valeur l_{bd} pour les armatures en attente en partie supérieure. Dans la configuration n°1 la valeur de l'enrobage par rapport à la surface du plancher : $c = h_t - d_{at} - h_{at} + \Delta d_{at}$

$$c = 200 - 95 - 50 + 15 = 70 \text{ mm}$$

$$c_d = \text{min} \left(\frac{(150 - 8)}{2} ; 70 \right) = 70 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0.15 \frac{70 - 8}{8} = -0.16 < 0.70$$

$$\alpha_2 = 0.70$$

$$l_{bd} = 0.70 \times l_{b, \text{req}} = 0.70 \times 40 \times \phi_{at} = 0.70 \times 40 \times 8 = 224 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1.50 \times l_{bd} = 1.50 \times 224 = 336 \text{ mm}$$

Dans cet exemple, la longueur des armatures (298 mm) ne permet pas de couvrir la courbe des moments, il faut donc envisager un recouvrement avec des armatures en chapeaux de dalle.

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - 10)}{I_0}; 1 \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{(298 - 10)}{336}; 1 \right\} = 0.857$$

$$F_{Rs,neg} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \times 0.857 \times \frac{500}{115} \times \frac{1}{150} = 124.86 \text{ kN/m}$$

$$z_{u,neg} = 71 - 0.5 \frac{124.86}{25/1.50} = 67.25 \text{ mm}$$

$$M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg} = 124.86 \times 67.25 \cdot 10^{-3} = 8.4 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

on vérifie :

$$M_{R,neg} (8.4 \text{ kN} \cdot \text{m/m}) \geq 0.15 \times M_t (6.636 \text{ kN} \cdot \text{m/m})$$

➤ **Commentaires :** La valeur du moment résistant calculé ici est supérieure à celle affichée dans les tableaux du chapitre I qui sont établis pour des prédalles d'épaisseur 5 et 6 cm. En considérant une prédalle de 6 cm, le bras de levier réduit de 10 mm aurait conduit à un moment résistant $M_{R,neg} = 124.86 \times 57.25 \cdot 10^{-3} = 7.15 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$ strictement identique.

• A II 3. Solution de boîte d'attentes "SPÉCIAL PRÉDALLES"

Les valeurs h_{at} et d_{at} restent inchangées par rapport à la solution de boîte d'attentes standard. Conformément au tableau définissant la géométrie des boîtes, on considèrera $u_1 = 15 \text{ mm}$ et $u_2 = 75 \text{ mm}$.

➤ Effort tranchant résistant

$$V_{Rdc,box} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$d = h_{at} + u_1 - \frac{\phi_{at}}{2} = 50 + 15 - \frac{8}{2} = 61 \text{ mm}$$

$$v_{min} = 1,172 \text{ Mpa}$$

d'où :

$$V_{Rdc,box} = 1.172 \times 1000 \times 61 \times 10^{-3} = 71.5 \text{ kN}$$

Effort tranchant maximum admissible :

$$V_{Rd} = \text{Min} \{ V_{Rdc,box} ; V_{Rds,ancrage} ; V_{Rds,Mpos} \} = \text{Min} \{ 71.5 ; 145.7 ; 172.1 \} = 71.5 \text{ kN/m}$$

➤ **Commentaire :** L'effort tranchant résistant est supérieur à celui indiqué dans les tableaux du chapitre I dans lesquels la capacité a été limitée à la résistance de la suspente retenue pour cette configuration de plancher.

➤ Moment résistant

• Considérant la configuration n°1

$$h_4 = 71 \text{ mm}$$

$$h'_4 = 75 + 50 - \frac{8}{2} = 121 \text{ mm}$$

$$z_{u,neg} = 121 - 0.5 \frac{124.86}{25/1.50} = 117.25 \text{ mm}$$

$$M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg} = 124.86 \times 117.25 \cdot 10^{-3} = 14.64 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

• Considérant la configuration n°5

$$h_4 = d_{at} + h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - h_p + \Delta d_{at} - \Delta z_p$$

$$h_4 = 95 + 50 - \frac{8}{2} - 50 + 15 - 5 = 101 \text{ mm}$$

$$d = h'_4 = 121 \text{ mm}$$

On recalcule la valeur l_{bd} pour les armatures en attente en partie supérieure dans la configuration n°5. La valeur de l'enrobage par rapport à la surface du plancher : $c = h_t - d_{at} - h_{at} + \Delta d_{at}$

$$c = 200 - 95 - 50 - 15 = 40 \text{ mm}$$

$$c_d = \text{min} \left(\frac{(150 - 8)}{2}; 40 \right) = 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0.15 \frac{40 - 8}{8} = 0.40 < 0.70$$

$$\alpha_2 = 0.70$$

L'efficacité à l'ancrage n'étant pas réduite, la configuration défavorable est la configuration n°1 et le moment résistant est égal à $M_{R,neg} = 14.64 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$

➤ **Commentaire :** Le moment résistant affiché pour cette configuration est de $14.5 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$. L'écart est lié aux arrondis réalisés pour le calcul des longueurs d'ancrage.

L'utilisation de boîtes d'attentes "Spécial Prédalles" conduit à un accroissement de capacité :

- de 20 % environ à l'effort tranchant ;
- de 74 % environ pour le moment résistant négatif.

Le tableau du chapitre I montre qu'une solution avec boîte d'attentes "Spécial Prédalles" au pas de 240 mm serait justifiable.

ANNEXE B : EXEMPLES POUR UN PLANCHER À PRÉDALLES EN BÉTON ARMÉ SANS ARMATURES D'EFFORT TRANCHANT

Soit un plancher de 23 cm d'épaisseur totale, de 6,20 m de portée composé de prédalles de 6 cm d'épaisseur en béton C25/30 suspendues aux 2 extrémités, en béton armé d'armatures HA 12 tous les 12 cm. Le béton coulé en place est de classe C25/30 et la hauteur utile est égale à 19 cm.

On admet une tolérance $\Delta d_{at} = \pm 25$ mm et une classe d'exposition XC1.

Les charges appliquées sont les suivantes :

- charges permanentes : $G = 1,0$ kN/m² (hors poids propre) ;
- charges d'exploitation : $Q = 2,5$ kN/m².

Déterminons le type de boîte d'attentes de type "Standard" à partir du tableau donné au chapitre I pour une longueur de l'armature égale à 40ϕ .

$$p = (1,35 \times (5,75 + 1) + 2,5 \times 1,5) = 12,86 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Ed} = p \cdot \frac{L}{2} = 12,86 \times \frac{6,20}{2} = 39,88 \text{ kN/m}$$

$$0,15 \times M_t = 0,15 \cdot p \cdot \frac{L^2}{8} = 0,15 \times 12,86 \times \frac{6,20^2}{8} = 9,27 \text{ kN.m/m}$$

La boîte d'attente de type "Standard" préconisée au chapitre I est constituée d'armatures $\phi 10$ avec $h_{at} = 60$ mm, disposées à l'espacement de 200 mm. Elle est positionnée dans la voile de telle sorte que $d_{at} = 105$ mm.

B I. Dimensionnement des suspentes

B I 1. Détermination de l'espacement des suspentes

Reprise de l'effort tranchant :

$$A_s = \frac{V_{Ed}}{f_{yk} / \gamma_s} = \frac{39,88 \times 10^3}{500 / 1,15} = 92 \text{ mm}^2$$

Soit un nombre de suspentes de diamètre $\phi 6$ HA = $92 / 28,3 = 3,25$ u/m.

Il faut retenir le nombre minimum recommandé, soit 4 suspentes $\phi 6$ HA par mètre.

B I 2. Détermination de la longueur du retour horizontal des suspentes

La longueur d'ancrage droit du brin horizontal de la suspente doit être supérieure ou égale à la longueur d'ancrage de calcul l_{bd} augmentée du demi-espacement des suspentes s_s .

passives est prise égale, par sécurité, à la longueur d'ancrage droit de référence $l_{b,req}$. Pour des armatures de résistance caractéristique $f_{yk} = 500$ MPa, et pour les classes de béton couramment utilisées pour les prédalles, ces longueurs sont égales à :

Béton de la prédalle	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
$l_{b,req}$	40ϕ	36ϕ	32ϕ	30ϕ
$l_{suspente}$	$40\phi + s_s / 2$	$36\phi + s_s / 2$	$32\phi + s_s / 2$	$30\phi + s_s / 2$

En conclusion, la longueur du brin horizontal des suspentes dans une prédalle, avec un béton de classe C25/30, doit donc être telle que :

$$L(\text{mm}) \geq 40\phi + s_s / 2$$

La longueur d'ancrage de calcul l_{bd} des armatures

Appliqué à l'exemple : $L \geq 40 \times 6 + 250 / 2 = 365$ mm

B II. Dimensionnement des attentes

B II 1. Vérification de la résistance à l'effort tranchant

La capacité de résistance à l'effort tranchant est limitée par :

- la capacité de résistance au cisaillement du béton de la dalle $V_{Rdc,box}$;
- la capacité d'ancrage de la boîte d'attente $V_{Rds,ancrage}$;
- la capacité à équilibrer le moment positif au croisement avec la suspente $V_{Rds,Mpos}$.

Pour calculer l'effort tranchant résistant, on prendra en compte le minimum des 3 valeurs que l'on comparera à l'effort tranchant sollicitant.

Pour définir les hauteurs d_{at} et h_{at} , on utilisera le tableau des configurations courantes du chapitre I du présent document. Considérant dans un premier temps que la boîte est de type "Standard", nous examinerons ensuite le cas du type "Spécial Prédalles".

Vérification de la hauteur de la boîte d'attentes

$$V_{Rdc,box} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

avec :

$$v_{min} = 0,34 \frac{f_{ck}^{1/2}}{\gamma_c}$$

pour une dalle bénéficiant d'un effet de redistribution transversale,

où :

$$\gamma_c = 1,45$$

σ_{cp} prend en compte la contrainte normale dans la dalle, donc $\sigma_{cp} = 0$

$$b_w = 1 \text{ m}$$

$$d = \min(h_1 ; h_2)$$

Dans cet exemple, pour une dalle de 23 cm avec une classe d'exposition XC1 et un $\Delta d_{at} = \pm 25$ mm, d'après le tableau des configurations courantes on a $h_{at} = 60$ mm.

Considérons une boîte d'attentes de type "Standard" avec des attentes de diamètre $\phi 10$ à l'espacement de 200 mm.

$$d = h_{at} + u_1 - \frac{\phi_{at}}{2} = 60 + 5 - \frac{10}{2} = 60 \text{ mm}$$

$$v_{min} = 0,34 \times 25^{1/2} / 1,45 = 1,172 \text{ MPa}$$

d'où :

$$V_{Rdc,box} = 1,172 \times 1000 \times 60 \times 10^{-3} = 70,32 \text{ KN}$$

Vérification de l'ancrage de l'attente inférieure

Effort à reprendre : $V_{Ed} = 39,88$ kN/m

La capacité résistante à l'ancrage de la boîte d'attentes constituée d'armatures HA 10 disposées à l'espacement s_t est égale à :

$$V_{Rds,ancrage} = A_{s,at} \times \beta_1 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

avec :

$$A_{s,at} = \frac{\pi \phi_{at}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ mm}^2$$

β_1 , coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature.

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

L_{at} longueur de dépassement de l'attente inférieure par rapport au support.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,req}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}}$$

avec :

$$c_d = \min \left(\frac{a}{2} ; c \right)$$

reprenant les notations de l'article 8.4.4 de la NF EN 1992-1-1

$$c = d_{at} - \Delta d_{at}$$

Appliqué à cet exemple, on aura :

$$c_d = \min\left(\frac{200-10}{2}; (105-25)\right) = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0.15 \frac{80-10}{10} = -0.05 < 0.70$$

$$\alpha_2 = 0.70$$

$$l_{bd} = 0.70 \times l_{b,req} = 0.70 \times 40 \times \phi_{at} = 0.70 \times 40 \times 10 = 280 \text{ mm}$$

$$L_{at} = L_d - p = L + 0.9 \phi_{at} - p \approx 41 \phi_{at} - 30 \text{ mm} = 380 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = \min\left\{\frac{380}{280}; 1\right\} = 1$$

$$V_{Rds,ancrage} = A_{s,at} \times \beta_1 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \times 1 \times \frac{500}{1.15} \times \frac{1}{200} = 170.7 \text{ kN/m}$$

➤ Vérification de la capacité à équilibrer le moment positif au croisement avec la suspenste

$$V_{Rds,Mpos} = \frac{M_{R,pos}}{d_{s,max}}$$

avec :

$$M_{R,pos} = F_{Rs,pos} \times z_{u,pos}$$

$$F_{Rs,pos} = A_{s,at} \times \beta_2 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

β_2 coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature

$$\beta_2 = \min\left\{\frac{(L_{at} - d_{s,max})}{l_{bd}}; 1\right\}$$

$d_{s,max} = 65 \text{ mm}$ (dans le cas d'une prédalle suspendue aux 2 extrémités)

Le bras de levier :

$$z_{u,pos} = h_2 - 0.5 \frac{F_{Rs,pos}}{f_{ck}/\gamma_c}, \text{ avec } \gamma_c = 1.45$$

h_2 tel que défini au §4.1.2 dans la configuration n°3, soit :

$$h_2 = h_t - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at} - \Delta h_t$$

Dans cet exemple, pour une dalle de $h_t = 23 \text{ cm}$, avec une classe d'exposition XC2 et $\Delta d_{at} = \pm 25 \text{ mm}$, d'après le tableau des configurations courantes, on a $d_{at} = 105 \text{ mm}$.

$$h_2 = 230 - 105 - \frac{10}{2} - 25 - 5 = 90 \text{ mm}$$

$$\beta_2 = \min\left\{\frac{(L_{at} - d_{s,max})}{l_{bd}}; 1\right\} = \min\left\{\frac{(380-65)}{280}; 1\right\} = 1$$

$$F_{Rs,pos} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \times 1 \times \frac{500}{1.15} \times \frac{1}{200} = 170.7 \text{ kN/m}$$

$$z_{u,pos} = 90 - 0.5 \frac{170.7}{25/1.45} = 85.05 \text{ mm}$$

$$M_{R,pos} = F_{Rs,pos} \times z_{u,pos} = 170.7 \times 85.05 \cdot 10^{-3} = 14.52 \text{ kN m/m}$$

$$V_{Rds,Mpos} = \frac{M_{R,pos}}{d_{s,max}} = \frac{14.52}{65 \cdot 10^{-3}} = 223.35 \text{ kN/m}$$

➤ Effort tranchant maximum admissible :

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rdc,box}; V_{Rds,ancrage}; V_{Rds,Mpos}\} = \min\{70.32; 170.7; 223.35\} = 70.32 \text{ kN/m}$$

→ $V_{Rd} \leq V_{Ed}$: Les boîtes d'attentes choisies sont donc bien vérifiées à l'effort tranchant.

➤ Vérification de l'espacement maximum des attentes

L'espacement des attentes inférieures est limité à $3 h_3$, h_3 étant défini en configuration n°3.

$$h_3 = h_t - d_{at} - \Delta h_t - \Delta d_{at} + 10 \text{ mm}$$

$$h_3 = 230 - 105 - 5 - 25 + 10 = 105 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 3 \times 105 = 315 \text{ mm}$$

• B II 2. Vérification de l'attente supérieure

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimal en rive égal à $0,15^*$ le moment en travée M_t en configuration n°1 (la plus défavorable) :

$$M_{R,neg} \geq 0.15 \times M_t$$

avec :

$$M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg}$$

$$F_{Rs,neg} = A_{s,at} \times \beta_3 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

β_3 coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature.

On distinguera les 2 cas suivants :

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

• ou à l'inverse, l'armature de longueur insuffisante nécessite un recouvrement. On 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 . Considérant par ailleurs que les armatures complémentaires viennent jusqu'au nu d'appui de la prédalle avec un enrobage de 10 mm .

➤ Note : En l'absence de justification particulière, on

pourra considérer que la longueur de l'armature est suffisante lorsqu'elle est au moins égale au dixième de la portée.

Dans le premier cas, le coefficient β_3 est calculé en considérant la capacité d'ancrage au-delà du nu d'appui :

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

Dans le second cas, 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 ($L_{at} - 10 \text{ mm}$).

$$\beta_3 = \min\left\{\frac{(L_{at} - 10 \text{ mm})}{l_0}; 1\right\}$$

en notant par ailleurs que $l_0 = \alpha_6 \times l_{bd} = 1.50 \times l_{bd}$ avec 100% d'armatures recouvertes.

La hauteur h_4 est définie au § 4.1.2 dans la configuration n°1.

$$h_4 = d_{at} + h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - h_p - \Delta d_{at} - \Delta z_p$$

Le bras de levier :

$$z_{u,neg} = h_4 - 0.5 \frac{F_{Rs,neg}}{f_{ck}/\gamma_c}, \text{ avec } \gamma_c = 1.50$$

➤ **Application numérique à l'exemple :**

$$h_4 = 105 + 60 - \frac{10}{2} - 60 - 25 - 5 = 70 \text{ mm}$$

On calcule la valeur l_{bd} pour les armatures en attente en partie supérieure. Dans la configuration n°1 la valeur de l'enrobage par rapport à la surface du plancher: $c = h_t - d_{at} - h_{at} + \Delta d_{at}$

$$c = 230 - 105 - 60 + 25 = 90 \text{ mm}$$

$$c_d = \min\left(\frac{(200-10)}{2}; 90\right) = 90 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0.15 \frac{90-10}{10} = -0.20 < 0.70$$

$$\alpha_2 = 0.70$$

$$l_{bd} = 0.70 \times l_{b,req} = 0.70 \times 40 \times \phi_{at} = 0.70 \times 40 \times 10 = 280 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1.50 \times l_{bd} = 1.50 \times 280 = 420 \text{ mm}$$

Dans cet exemple, la longueur des armatures (370 mm) ne permet pas de couvrir la courbe des moments, il faut donc envisager un recouvrement avec des armatures en chapeaux de dalle.

$$\beta_3 = \min\left\{\frac{(l_{at} - 10)}{l_0}; 1\right\} = \min\left\{\frac{(380-10)}{420}; 1\right\} = 0.881$$

$$F_{Rs,neg} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \times 0.881 \times \frac{500}{1.15} \times \frac{1}{200} = 150.41 \text{ kN/m}$$

$$z_{u,neg} = 70 - 0.5 \frac{150.41}{25/1.50} = 65.49 \text{ mm}$$

$$M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg} = 150.41 \times 65.49 \cdot 10^{-3} = 9.85 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

On vérifie :

$$M_{R,neg} (9.85 \text{ kN}\cdot\text{m/m}) \geq 0.15 \times M_t (9.27 \text{ kN}\cdot\text{m/m})$$

• **B II 3. Solution de boîte d'attentes "SPÉCIAL PRÉDALLES"**

Les définitions de h_{at} et d_{at} sont inchangées par rapport à la solution de boîte de type "Standard".

On aura $u_1 = 20 \text{ mm}$ et $u_2 = 80 \text{ mm}$.

➤ **Effort tranchant résistant**

$$V_{Rdc,box} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$d = h_{at} + u_1 - \frac{\phi_{at}}{2} = 60 + 20 - \frac{10}{2} = 75 \text{ mm}$$

$$v_{min} = 1.172 \text{ Mpa}$$

d'où :

$$V_{Rdc,box} = 1.172 \times 1000 \times 75 \times 10^{-3} = 87.9 \text{ KN}$$

Effort tranchant maximum admissible :

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rdc,box}; V_{Rds,ancrage}; V_{Rds,Mpos}\} = \min\{87.9; 170.7; 223.35\} = 87.9 \text{ KN/m}$$

➤ **Moment résistant**

• **Considérant la configuration n°1**

$$h_4 = 70 \text{ mm}$$

$$h'_4 = \min(80, 105 - 25 - 5) + 60 - \frac{10}{2} = 130 \text{ mm}$$

$$z_{u,neg} = 130 - 0.5 \frac{150.41}{25/1.50} = 125.49 \text{ mm}$$

$$M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg} = 150.41 \times 125.49 \cdot 10^{-3} = 18.87 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

• **Considérant la configuration n°5**

$$h_4 = d_{at} + h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - h_p + \Delta d_{at} - \Delta z_p$$

$$h_4 = 105 + 60 - \frac{10}{2} - 50 + 25 - 5 = 130 \text{ mm}$$

$$d = h'_4 = 80 + 60 - \frac{10}{2} = 135 \text{ mm}$$

On recalcule la valeur l_{bd} pour les armatures en attente en partie supérieure dans la configuration n°5. La valeur de l'enrobage par rapport à la surface du plancher :

$$c = 230 - 105 - 60 - 25 = 40 \text{ mm}$$

$$c_d = \min\left(\frac{(200-10)}{2}; 40\right) = 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0.15 \frac{40-10}{10} = 0.55 < 0.70$$

$$\alpha_2 = 0.70$$

L'efficacité à l'ancrage n'étant pas réduite, la configuration défavorable est la configuration n°1 et le moment résistant est égal à $M_{R,neg} = 18.87 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

L'utilisation de boîtes d'attentes spécial prédalles conduit à un accroissement de capacité :

- de 25 % environ à l'effort tranchant ;
- de 92 % environ pour le moment résistant négatif.

Le tableau du chapitre I montre qu'une solution avec des attentes $\phi 8$ au pas de 240 mm pourrait convenir.

ANNEXE C - EXEMPLE POUR UN PLANCHER AVEC ARMATURES D'EFFORT TRANCHANT

Soit un plancher de 30 cm d'épaisseur totale, de 6,00m de portée composé de prédalles BA de 7 cm d'épaisseur en béton C25/30 suspendues aux 2 extrémités, en béton armé d'armatures HA 12 tous les 10 cm. Le béton coulé en place est de classe C25/30.

On admet une tolérance courante $\Delta d_{at} = \pm 25$ mm et une classe d'exposition XC1. Un enrobage de 2 cm est admis. Le moment sollicitant maximum en travée est $M_{Ed} = 100$ kN.m et l'effort tranchant sollicitant $V_{Ed} = 200$ kN.

C I. Données géométriques

➤ Définition géométrique de la boîte d'attentes et des suspentes

Se référant aux indications du chapitre 4.2.1, il convient de définir la géométrie de la liaison. Compte-tenu du niveau de chargement, nous retiendrons des armatures de suspentes et de boîtes d'attentes de diamètre 10 mm.

$$d_{at} \geq h_p + c_{3,min} + \Delta Z_p + \Delta d_{at}$$

$$c_{3,min} = \max \begin{cases} c_1 + h_{sp,v} - h_p \\ 3 \phi_s \\ 10 \text{ mm} \end{cases}$$

$$c_1 = 20 \text{ mm}$$

$$h_{s,p} = 6 \times \phi_s + 20 = 6 \times 10 + 20 = 80 \text{ mm}$$

$$c_{3,min} = c_1 + h_{sp,v} - h_p = 20 + 80 - 70 = 30 \text{ mm}$$

$$d_{at} \geq 70 + 30 + 5 + 25 = 130 \text{ mm}$$

$$c_4 \geq c_{min} + \Delta h_t + \Delta d_{at} = 10 + 5 + 25 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 \geq \begin{cases} c_{min} + \Delta Z_p \\ c_{min} + \Delta h_t \end{cases}$$

$$c_2 \geq 15 \text{ mm} \rightarrow \text{on retiendra } c_2 = 20 \text{ mm}$$

$$c_4 \geq c_2 + \Delta d_{at}$$

$$c_4 \geq 20 + 25 = 45 \text{ mm}$$

Nous retiendrons la configuration suivante :

$$d_{at} = 130 \text{ mm}$$

$$h_{at} = 120 \text{ mm} \rightarrow c_4 = 50 \text{ mm}$$

On choisit des attentes de longueur $L = 53 \phi$. La longueur dépassant depuis le nu d'appui L_{at} est égale à :

$$L_{at} = L_d - p = L + 0.9 \phi_{at} - p \approx 54 \phi_{at} - 30 \text{ mm} = 510 \text{ mm}$$

La suspente réalisée en armature $\phi 10$ HA a un encombrement vertical :

$$h_s = 300 - 20 - 20 = 260 \text{ mm}$$

➤ Vérification du schéma de fonctionnement en bielle

Conformément aux indications données au chapitre 4.3.1, il convient de vérifier que, dans la configuration n°2, le report des charges sur appuis est possible avec une bielle inclinée d'un angle β supérieur ou égal à 45° (cf. figure 13).

$$d_2 = c_1 + h_s - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta Z_p - \Delta d_{at}$$

$$d_2 = 20 + 260 - 130 - \frac{10}{2} - 5 - 25 = 115 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_{s,max} + \frac{p}{2} = d_{s,max} + \frac{h_s}{8}$$

avec,

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

$$h_s = 300 - 130 - \frac{10}{2} - 25 = 140 \text{ mm}$$

$$d_1 = 65 + \frac{140}{8} = 82.5 \text{ mm}$$

$$d_1 < d_2$$

$$\beta = \text{Atn} \left(\frac{d_2}{d_1} \right) = \text{Atn} \left(\frac{115}{82.5} \right) \approx 54^\circ$$

Conclusion : la condition est vérifiée.

➤ Autres données géométriques

Compte tenu de l'éloignement vertical entre les armatures en attente et celles dans la prédalle, il sera nécessaire d'envisager un schéma d'équilibre des efforts tel que décrit à la figure 14.

$$d_3 = h_s - d_2 = 260 - 115 = 145 \text{ mm}$$

La longueur de l'armature en attente dépassant au-delà du croisement avec l'axe du brin vertical de la suspente est égale à :

$$L_{at} - d_{s,max} - \frac{\phi_{at}}{2} = 510 - 65 - \frac{10}{2} = 440 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 0.70 \times l_{b,req} = 0.70 \times 40 \times \phi_{at} = 0.70 \times 40 \times 10 = 280 \text{ mm}$$

$$d_4 = 440 - \frac{280}{2} = 300 \text{ mm}$$

C II. Dimensionnement des suspentes

➤ Détermination de l'espacement des suspentes

L'effort de traction dans le brin avant de la suspente a pour valeur :

$$F_{Ed} = \left(1 + \frac{d_1 \times d_3}{d_4 (d_2 + d_3)} \right) V_{Ed} = \left(1 + \frac{82.5 \times 145}{300 \times (115 + 145)} \right) \times 200 = 230.7 \text{ kN/m}$$

$$A_s = \frac{F_{Ed}}{f_{yk} / \gamma_s} = \frac{230.7 \times 10^3}{500 / 1.15} = 531 \text{ mm}^2$$

Soit un nombre de suspentes de diamètre $\phi 10$ HA = $531 / 78.5 = 6.76$ u/m $\rightarrow s_t \approx 150$ mm

L'espacement des suspentes ne doit pas dépasser 1,5 fois la hauteur utile h_2 telle que définie dans la configuration N°3.

$$h_2 = h_t - d_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - \Delta d_{at} - \Delta h_t = 300 - 130 - \frac{10}{2} - 25 - 5 = 135 \text{ mm}$$

On vérifie que l'espacement retenu

$$s_t (150 \text{ mm}) < 1.5 h_2 (202.5 \text{ mm})$$

C III. Dimensionnement des attentes

• C III 1. Vérification de l'attente inférieure

➤ Vérification de la compression dans la bielle d'appui

La réaction d'appui est transmise au support par des bielles prenant appui sur les armatures inférieures de la boîte d'attentes suivant le schéma illustré par la figure 13.

$$V_{Ed} \leq 3 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times e_b \times 3 \times \phi_{at} \times \frac{1}{\sin \beta} \times \frac{1}{s_t}$$

avec :

$$e_b = 0.25 \times h_s \times \cos \beta = 0.25 \times 140 \times \cos(54^\circ) = 20.6 \text{ mm}$$

l'espacement maximum des armatures est donc égal à :

$$s_t = 9 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times \phi_{at} \times 0.25 \times h_s \times \frac{\cot \beta}{V_{Ed}}$$

$$s_t = 9 \times \frac{25}{1.5} \times 10 \times 0.25 \times 140 \times \frac{\cot(54^\circ)}{200} = 190 \text{ mm}$$

■ Vérification de l'ancrage de l'attente inférieure

Effort à reprendre : $V_{Ed} = 200 \text{ kN/m}$

L'espacement des armatures en attente en partie inférieure doit vérifier l'inégalité suivante :

$$s_t \leq A_{s,at} \times \beta_1 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{V_{Ed}}$$

avec :

$$A_{s,at} = \frac{\pi \phi_{at}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

$\beta_1 = 1$ (nous avons vu en C.I que $l_{bd} = 280 \text{ mm}$)

$$s_t \leq 78.5 \times 1 \times \frac{500}{1.15} \times \frac{1}{200}$$

$$s_t \leq 170 \text{ mm}$$

■ Vérification de l'espacement maximum des attentes

L'espacement des attentes inférieures est limité à $3 h_3$, h_3 étant défini en configuration n°3.

$$h_3 = h_t - d_{at} - \Delta h_t - \Delta d_{at} + 10 \text{ mm}$$

$$h_3 = 300 - 130 - 5 - 25 + 10 = 150 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

• C III 2. Vérification de l'attente supérieure

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimal en rive égal à $0,15 \cdot M_t$ le moment en travée M_t en configuration n°1 (la plus défavorable) :

$$M_{R,neg} \geq 0,15 \times M_t \quad \text{avec} \quad M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg}$$

$$F_{Rs,neg} = A_{s,at} \times \beta_3 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times \frac{1}{s_t}$$

β_3 coefficient réducteur pour prise en compte de l'ancrage partiel éventuel de l'armature.

Des armatures en chapeaux sont mises en recouvrement avec les attentes des suspentes.

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - 10 \text{ mm})}{l_0}; 1 \right\}$$

en notant par ailleurs que $l_0 = \alpha_6 \times l_{bd} = 1,50 \times l_{bd}$ avec 100% d'armatures recouvertes.

$$h_4 = d_{at} + h_{at} - \frac{\phi_{at}}{2} - h_p - \Delta d_{at} - \Delta z_p = 130 + 120 - \frac{10}{2} - 70 - 25 - 5 = 145 \text{ mm}$$

Le bras de levier :

$$z_{u,neg} = h_4 - 0,5 \frac{F_{Rs,neg}}{f_{ck} / \gamma_c}, \quad \text{avec} \quad \gamma_c = 1,50$$

Considérons un espacement $s_t = 170 \text{ mm}$ calculé précédemment :

on calcule la valeur l_{bd} pour les armatures en attente en partie supérieure. Dans la configuration n°1 la valeur de l'enrobage par rapport à la surface du plancher : $c = h_t - d_{at} - h_{at} + \Delta d_{at}$

$$c = 300 - 130 - 120 + 25 = 75 \text{ mm}$$

$$c_d = \text{min} \left(\frac{(170 - 10)}{2}; 75 \right) = 75 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{c_d - \phi_{at}}{\phi_{at}} = 1 - 0,15 \times \frac{70 - 10}{10} = -0,25 < 0,70$$

$$\alpha_2 = 0,70$$

$$l_{bd} = 0,70 \times l_{b,req} = 0,70 \times 40 \times \phi_{at} = 0,70 \times 40 \times 10 = 280 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1,50 \times l_{bd} = 1,50 \times 280 = 420 \text{ mm}$$

$$\beta_3 = \text{Min} \left\{ \frac{(L_{at} - 10)}{l_0}; 1 \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{(510 - 10)}{420}; 1 \right\} = 1$$

$$F_{Rs,neg} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \times 1 \times \frac{500}{1,15} \times \frac{1}{170} = 200,9 \text{ kN/m}$$

$$z_{u,neg} = 1,45 - 0,5 \frac{200,9}{25/1,50} = 138,9 \text{ mm}$$

$$M_{R,neg} = F_{Rs,neg} \times z_{u,neg} = 200,9 \times 138,9 \cdot 10^{-3} = 27,9 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

On vérifie :

$$M_{R,neg} (27,9 \text{ kN}\cdot\text{m/m}) \geq 0,15 \times M_t (15,0 \text{ kN}\cdot\text{m/m})$$

GUIDE D'APPLICATION DES RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

concernant les planchers à prédalles
suspendues avec boîtes d'attentes

LA QUALITÉ DES LIAISONS SUSPENDUES DÉPEND DU SOIN APPORTÉ PAR L'ENTREPRISE AU MOMENT DE L'EXÉCUTION DE L'OUVRAGE, MAIS AUSSI DE L'IMPLICATION, AU BON MOMENT, DU BET ET DU FABRICANT DE PRÉDALLES.

- L'Entreprise exprime ses besoins en liaisons suspendues au BET, ce dernier détermine les caractéristiques des boîtes d'attentes et fournit des coupes à l'échelle.
- L'Entreprise construit conformément aux coupes dans le respect des tolérances prévues.
- Le Fabricant de prédalles fournit des prédalles munies de suspentes pré-pliées et propose la fourniture d'un redresseur.

Ce guide d'application des recommandations professionnelles, plus particulièrement destiné aux concepteurs, s'inscrit dans la collection suivante :



LES RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

Référentiel concernant les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes.



LE CARNET DE CHANTIER

Ce guide de mise en œuvre des planchers à prédalles est destiné au personnel de chantier.



LE GUIDE QUALIPREDAL

Anticiper la préparation de chantier, maîtriser la mise en œuvre et assurer les finitions des planchers à prédalles.