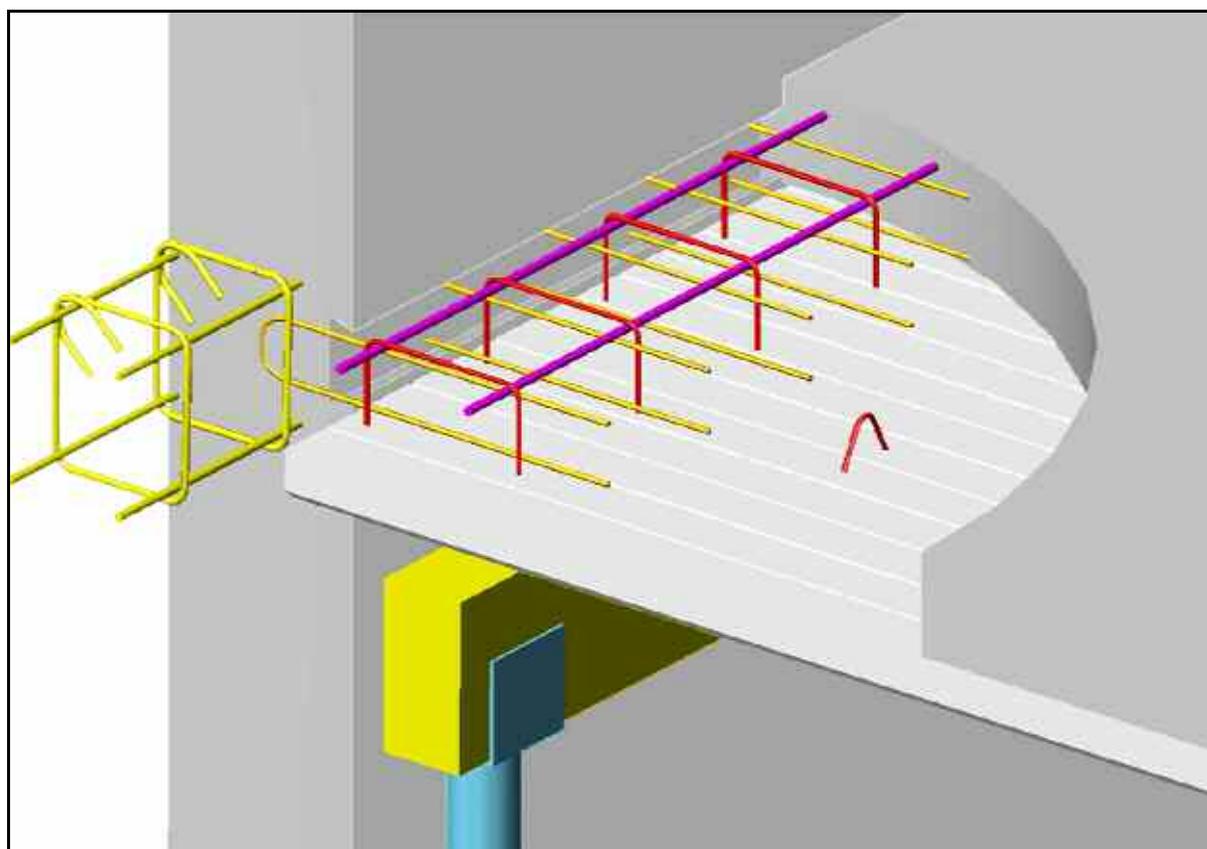


# Règles professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues



Édition Mars 2008



## **Avant-propos**

*Les planchers intermédiaires et toitures terrasses de bâtiments (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 présentes règles visent la conception et la réalisation du nœud d'appui suspendu entre le support vertical et les planchers composites dans les cas les plus courants, conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française . Elles n'ont pas pour objet de donner de nouvelles règles mais de préciser et de compléter ce qui existe déjà dans la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française , les Avis Techniques et le CPT PLANCHERS Titre II.*

### **Avertissement :**

***Ces règles doivent être considérées comme provisoires, les tolérances d'exécution prises en compte pour le positionnement des attentes dépliées devant être confirmées par les constats de faisabilité sur chantier.***



## Groupe de rédaction :

Jean-François BARRERE	SNAAM
Sébastien BERNARDI	RECTOR LESAGE
Patrick CHEREL	KP1
André De CHEFDEBIEN	CERIB
André COIN	
Daniel DEVILLEBICHOT	EGF-BTP
Damien FABRE	SEAC Guiraud Frères
François GAUDIN	EGF-BTP
Bertrand LEMOINE	FFB-UMGO
Farida MAIBECHE	SOPREL
Pierre MICHIELS	PLAKABETON
Edouard MOREAU	SPIE - SCGPM
Pierre PASSEMAN	CERIB
Jean-Paul PY	KP1 R&D
Michel SPORENO	FFB-UMGO
Henry THONIER	EGF-BTP
Janick TROUCHAUD	A2C préfa



# SOMMAIRE

<b>1. Objet .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Domaine d'application .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Symboles et définitions .....</b>	<b>9</b>
3.1 Symboles .....	9
3.2 Définitions.....	11
<b>4. Conception du nœud d'appui .....</b>	<b>11</b>
4.1 Fonctionnement de type bielle .....	11
4.2 Autres modes de fonctionnement.....	15
4.3 Prise en compte des tolérances .....	15
<b>5. Dispositions des armatures .....</b>	<b>16</b>
5.1 Armatures n° 4 de la prédalle .....	16
5.2 Armatures n° 5.....	16
5.3 Façonnage des suspentes.....	17
5.4 Attentes du support n° 1 .....	17
5.5 Liaison des prédalles sur les rives non porteuses .....	18
<b>6. Dispositions parasismiques.....</b>	<b>18</b>
<b>7. Principes de mise en œuvre.....</b>	<b>19</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>19</b>
<b>Annexe A – Méthode de dimensionnement des suspentes dans les planchers à prédalles précontraintes.....</b>	<b>21</b>
A.1 – Objectif .....	21
A.2 – Moment résistant .....	21
A.3 – Moment appliqué.....	22
A.4 – Détermination de la longueur de recouvrement des armatures de précontrainte et des armatures de suspenste .....	23

<b>Annexe B – Méthode simplifiée de dimensionnement des attentes .....</b>	<b>25</b>
<b>Annexe C – Exemples d’application pour un plancher à prédalles précontraintes.....</b>	<b>27</b>
<b>C.1 – Exemple 1 .....</b>	<b>27</b>
<b>C.2 – Exemple 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>Annexe D – Exemples d’application pour un plancher à prédalles béton armé</b>	<b>31</b>
<b>D.1 – Exemple 1 .....</b>	<b>31</b>
<b>D.2 – Exemple 2 .....</b>	<b>32</b>
<b>Annexe E – Exemple de prise en compte des tolérances.....</b>	<b>33</b>
<b>Annexe F – Attentes compatibles avec les épaisseurs de planchers et de prédalles courants.....</b>	<b>35</b>

# 1. Objet

Les règles qui suivent concernent les dispositions à prendre pour la conception et la réalisation du nœud d'appui entre un support vertical (voile, poutre allège ou paroi enterrée comportant une face coffrée) et des planchers composites dans les cas les plus courants réalisés à l'aide de prédalles en béton précontraint ou en béton armé lorsque l'appui direct de la prédalle sur son support vertical n'est pas réalisé. Les appuis sont alors dits "suspendus". Ce type de condition d'appui, de plus en plus utilisé, nécessite la prise en compte de dispositions particulièrement précises et rigoureuses pour assurer la pérennité de la liaison et par conséquent celle des bâtiments.

La coordination des études est indispensable entre le bureau d'études de l'entreprise de gros œuvre et celui du préfabricant 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.

La tolérance de position verticale des attentes par rapport à la sous face du plancher est prise égale à  $\pm 15$  mm. La prise en compte de cette tolérance conduit à une épaisseur minimale de plancher de 17 cm.

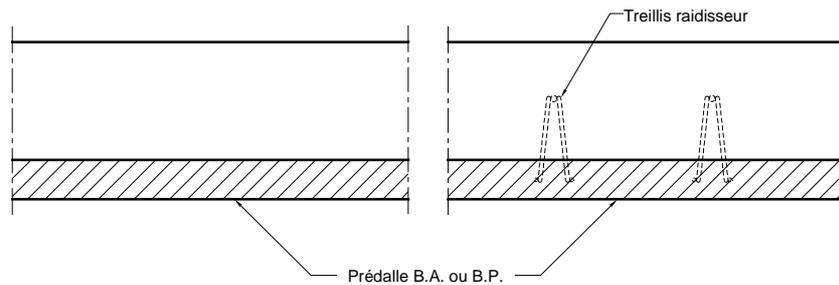
D'autres tolérances peuvent être prises en compte dans la mesure où elles sont intégrées dans les calculs. Un accroissement des tolérances peut entraîner une augmentation de l'épaisseur du plancher.

# 2. Domaine d'application

Sont considérés dans les présentes règles les planchers à prédalles en béton armé ou en béton précontraint fabriquées en usine fixe.

Ces règles s'appliquent aux dalles de planchers composites de tous les planchers intermédiaires et de toitures terrasses de bâtiments (industriels, stockages, logements publics tels que écoles, hôpitaux, etc.), en zones sismiques ou non, 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 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.



**Figure 1 – Typologie des zones d'extrémités des planchers**

Les prédalles sont munies de suspentes et ne comportent pas d'armatures longitudinales dépassant aux abouts .

L'épaisseur nominale des prédalles suspendues ne doit pas être inférieure à 50 mm.

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

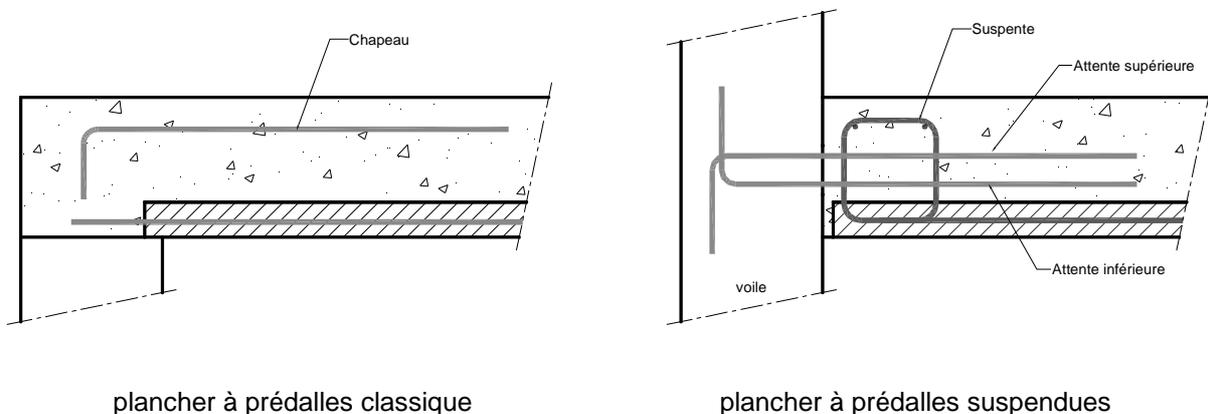
Les planchers ainsi réalisés peuvent avoir deux, trois ou quatre bords appuyés. Ne sont pas visés :

- 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 planchers-dalles sur appuis ponctuels.

L'industriel devra faire figurer systématiquement sur ses plans 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 fournira :

- un détail type précisant les cotes nécessaires à la réalisation de l'assemblage : position verticale et encombrement des attentes ;
- les sections minimales d'armatures en attente déterminées conformément au présent document ;
- un descriptif de mise en œuvre.



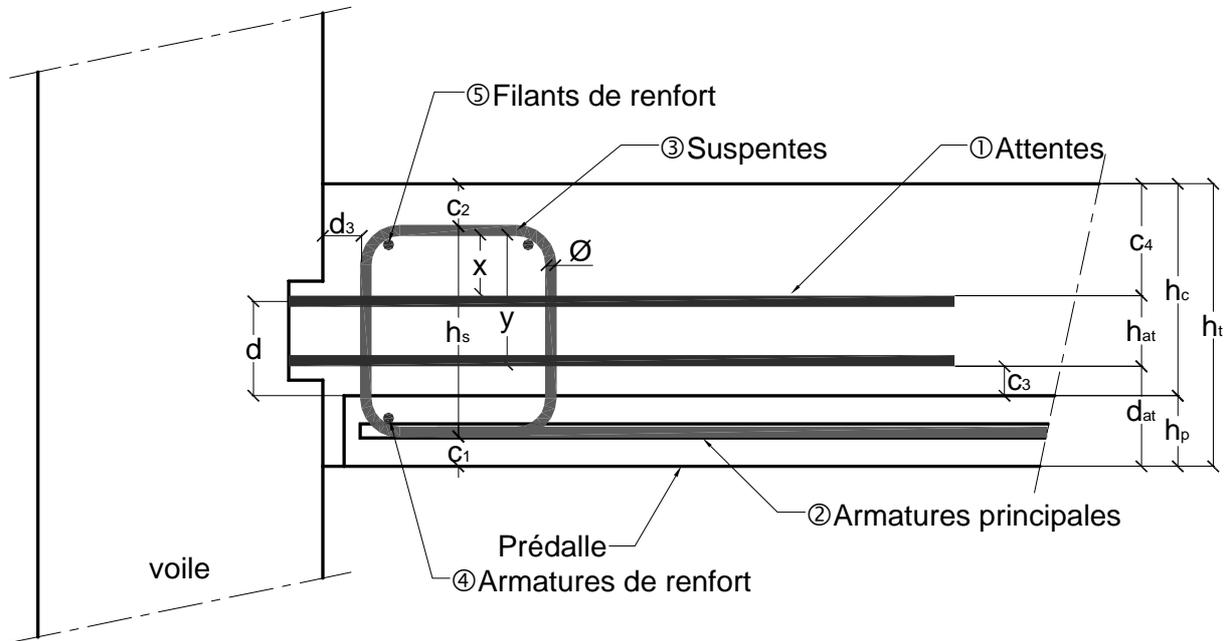
plancher à prédalles classique

plancher à prédalles suspendues

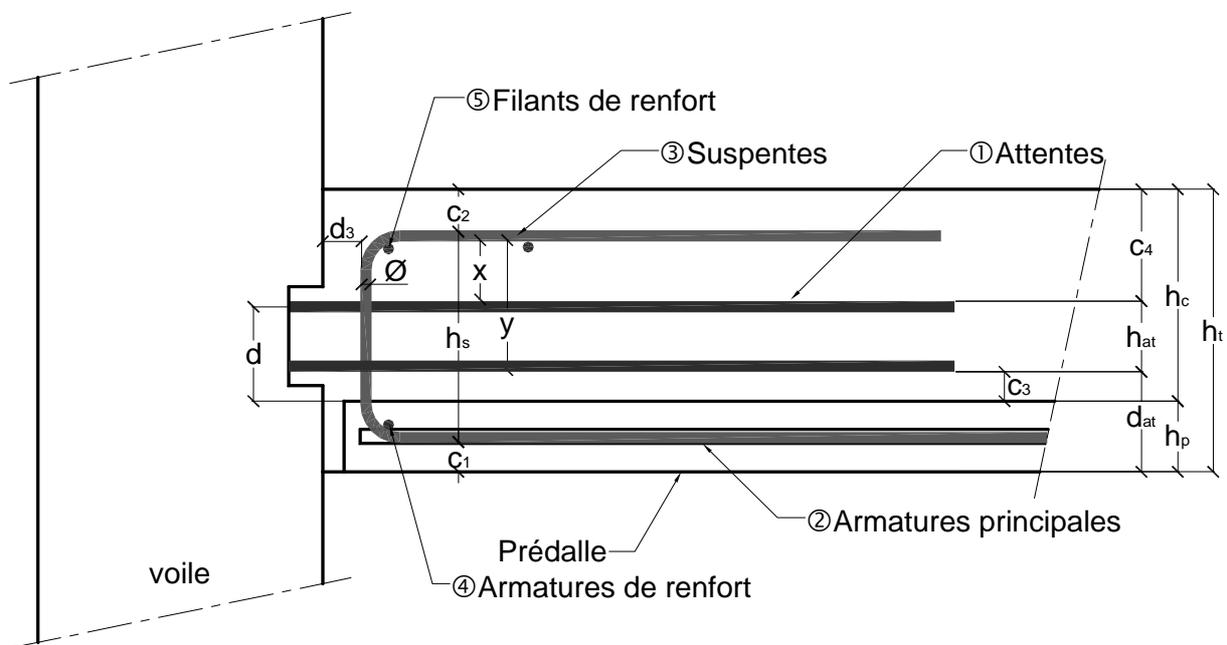
**Figure 2 – Principes de ferrailage**

### 3. Symboles et définitions

#### 3.1 Symboles



**Figure 3a – Schéma des symboles utilisés  
(cas des suspentes en forme de cadre fermé)**



**Figure 3b – Schéma des symboles utilisés  
(cas des suspentes en forme de U ouvert)**

*Commentaire : dans la suite du document, seule la solution de suspentes en forme de cadre fermé est représentée, sans que cela représente un choix qualitatif.*

- $\phi$  : diamètre de la suspente ;
- $a$  : largeur de la bielle (Figure 4) ;
- $c_1$  : enrobage nominal de la suspente n° 3 par rapport à la fibre inférieure de la prédalle ;
- $\Delta c_1$  : tolérance sur l'enrobage  $c_1$  ;
- $c_2$  : enrobage nominal du brin horizontal supérieur de la suspente n° 3 ;
- $c_{2min}$  : enrobage minimal des suspentes supérieures par rapport à la fibre supérieure du plancher ;
- $c_3$  et  $c_{3min}$  : enrobage et enrobage minimal des armatures inférieures n° 1 en attente par rapport à la fibre supérieure de la prédalle ;
- $c_4$  : enrobage nominal de l'armature supérieure n° 1 en attente du support par rapport à la fibre supérieure du plancher ;
- $d$  : hauteur utile de l'attente supérieure par rapport au-dessus de la prédalle (Figures 3a et 3b) ;
- $d_{at}$  : distance nominale entre la face inférieure de la prédalle et l'armature inférieure n° 1 en attente du support ;
- $\Delta d_{at}$  : tolérance d'implantation des attentes dans le voile ;
- $d_3$  : distance libre entre le brin vertical de la suspente n° 3 et le nu vertical du support ;
- $\Delta d_3$  : tolérance d'implantation du brin vertical de la suspente de la prédalle ;
- $h_{at}$  : hauteur d'encombrement des attentes égale à la distance verticale hors tout entre les brins du lit inférieur et du lit supérieur ;
- $\Delta h_{at}$  : tolérance sur la hauteur d'encombrement des attentes ;
- $h_s$  : hauteur d'encombrement des suspentes égale à la distance verticale hors tout ;
- $\Delta h_s$  : tolérance sur la hauteur d'encombrement des suspentes ;
- $h_c$  : épaisseur nominale du béton coulé en œuvre au-dessus de la prédalle ;
- $h_p$  : épaisseur nominale de la prédalle ;
- $\Delta h_p$  : tolérance de fabrication de la prédalle ;
- $h_t$  : épaisseur totale du plancher ;
- $\Delta h_t$  : tolérance d'exécution de l'épaisseur du plancher ;
- $L_{at}$  : longueur de dépassement de l'armature inférieure n° 1 en attente par rapport au nu intérieur du support.

## 3.2 Définitions

<b><i>Prédalle</i></b>	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.
<b><i>Prédalle en béton armé</i></b>	Prédalle dont les armatures de béton armé constituent l'armature principale de la dalle composite.
<b><i>Prédalle en béton précontraint</i></b>	Prédalle dont les armatures de précontrainte par pré-tension constituent l'armature principale de la dalle composite.
<b><i>Prédalle avec treillis raidisseur</i></b>	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.

## 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.

Le mode de fonctionnement de référence est un fonctionnement de type bielle, qui sert de calcul de base. D'autres modes de fonctionnement sont possibles.

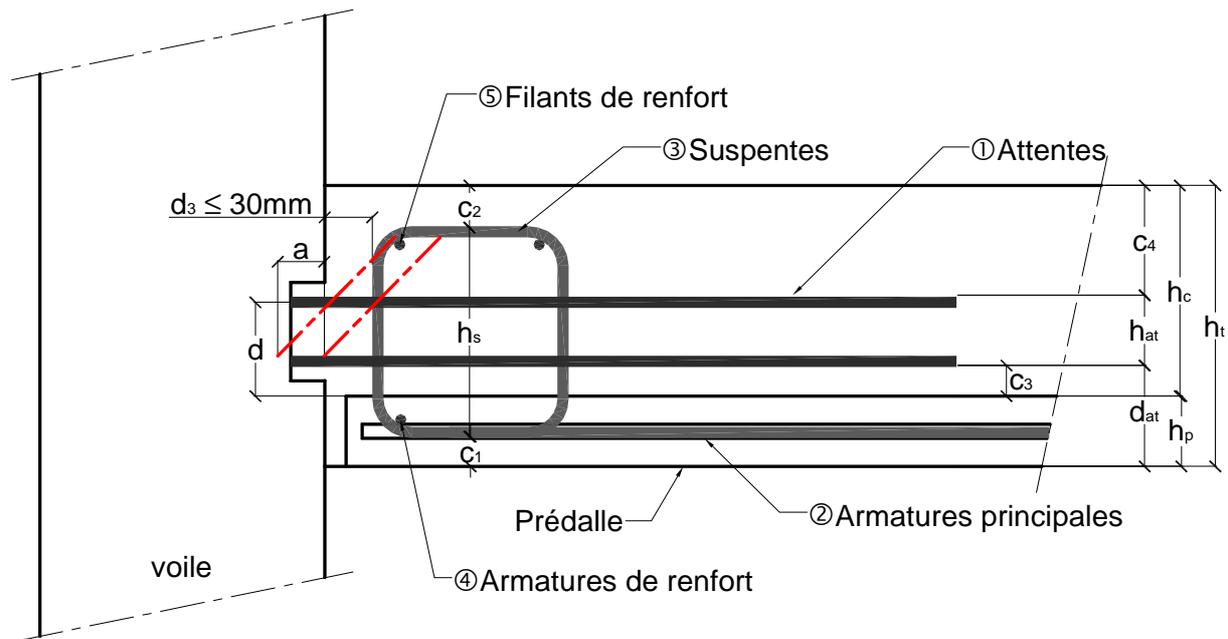
### 4.1 Fonctionnement de type bielle

Le fonctionnement par relevage de la charge sur une bielle d'appui (Figure 3) permet de justifier la stabilité uniquement avec les seules armatures inférieures en attente du support (armatures n° 1 inférieures). Ce principe de fonctionnement doit être retenu comme solution de base pour le dimensionnement des attentes des voiles et des suspentes des prédalles.

#### 4.1.1 Mécanisme de stabilité

Le principe de stabilité de la prédalle suspendue est basé sur le relevage de la charge sur une bielle d'appui équilibrée par l'armature inférieure en attente (armatures n° 1).

Les armatures en attente (armatures n° 1) sont disposées pour obtenir un enrobage  $c_3$  minimum de 5 mm au-dessus de la prédalle. La distance nominale du brin inférieur à la face supérieure du plancher devra en outre être supérieure à  $h_f/2$ . Le brin inférieur assure à lui seul l'équilibre de l'effort à ancrer.



**Figure 4 – Fonctionnement par équilibre de la bielle**

Ce principe de fonctionnement engendre les contraintes suivantes :

- ménager une hauteur résistante  $h_c$  au droit de l'appui au-dessus de la prédalle permettant de respecter les critères géométriques traduits dans les équations 1 à 5 du paragraphe 4.3 et de 110 mm minimum ;
- mettre en place la suspente (armatures n° 3) suffisamment proche de l'about de la prédalle afin que le brin vertical soit, après mise en œuvre, le plus près possible du support, en respectant l'enrobage minimal ;
- assurer pour le support une capacité résistante au moment négatif de calcul.

#### **4.1.2 Dispositions constructives**

Les dispositions constructives de la figure 4 permettent ce type de fonctionnement. La liaison "plancher composite - support" est réalisée par deux types d'armatures :

- dans le support, sont disposées des armatures en attente (en forme de U par exemple) dont les brins sont situés dans un même plan vertical, déployés généralement après pose des prédalles (armatures n° 1 inférieures et supérieures). Les armatures disposées en partie inférieure doivent assurer l'ancrage de la bielle d'appui. Leur espacement maximum est de 250 mm ;
- dans la prédalle, sont disposées des armatures transversales dites **suspentes** (armatures n° 3) sortant en attente de l'élément préfabriqué à ses extrémités. Elles assurent le relevage de charges et viennent en recouvrement avec l'armature longitudinale de la prédalle (armatures n° 2) à son extrémité. Elles sont dimensionnées en fonction de la réaction d'appui. Leur espacement maximum est de 250 mm.

Pour adopter une solution capable de répondre à ce mode de fonctionnement, il convient :

- de justifier la transmission des efforts entre les diverses armatures, en limitant les contraintes dans les aciers (attentes et suspentes) à  $0,80 f_{yk} / \gamma_s$  ;
- d'assurer l'homogénéité des dispositions constructives adoptées dans l'élément porteur et la prédalle ;
- de justifier l'épaisseur  $h_c$  du béton coulé en œuvre ;
- et ce, en tenant compte des tolérances dans le schéma d'équilibre adopté pour la stabilité (Figure 4).

Sauf prescriptions particulières, l'enrobage  $c_3$  des armatures inférieures en attente (armatures n° 1 inférieures) ne doit pas être inférieur à 5 mm toutes tolérances épuisées. La distance  $d_3$  des armatures des suspentes en équerre (armatures n° 3) par rapport au nu du support doit être au plus égale à 30 mm, toutes tolérances épuisées.

*Commentaire : le présent document a été établi avec cette dernière hypothèse. Des valeurs supérieures peuvent être admises moyennant des justifications particulières.*

#### 4.1.3 Fonctionnement d'une suspenste

La transmission des efforts doit être assurée entre l'armature de flexion de la prédalle (armatures n° 2) et le brin horizontal de la suspenste intégré dans la prédalle (Figure 5 : armatures n° 3). 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 suspenste se fait par bielles à 45°. Les armatures de répartition perpendiculaires disposées dans la prédalle assurent la couture des bielles (armature n° 4).

Le relevage de la charge doit être réalisé en totalité par le seul brin vertical (armature n° 3) proche de l'extrémité de la prédalle (Figure 6).

*Commentaire : une méthode de dimensionnement pour les planchers à prédalles précontraintes est donnée en annexe A.*

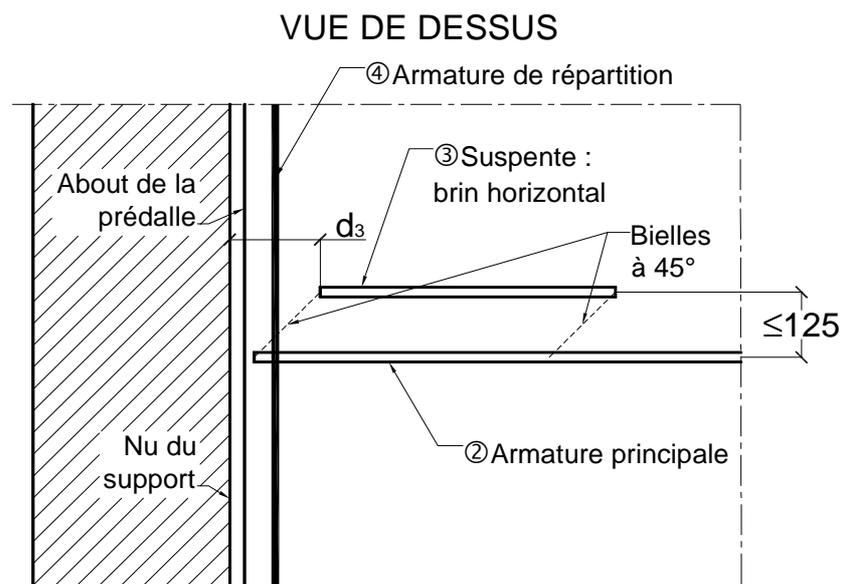
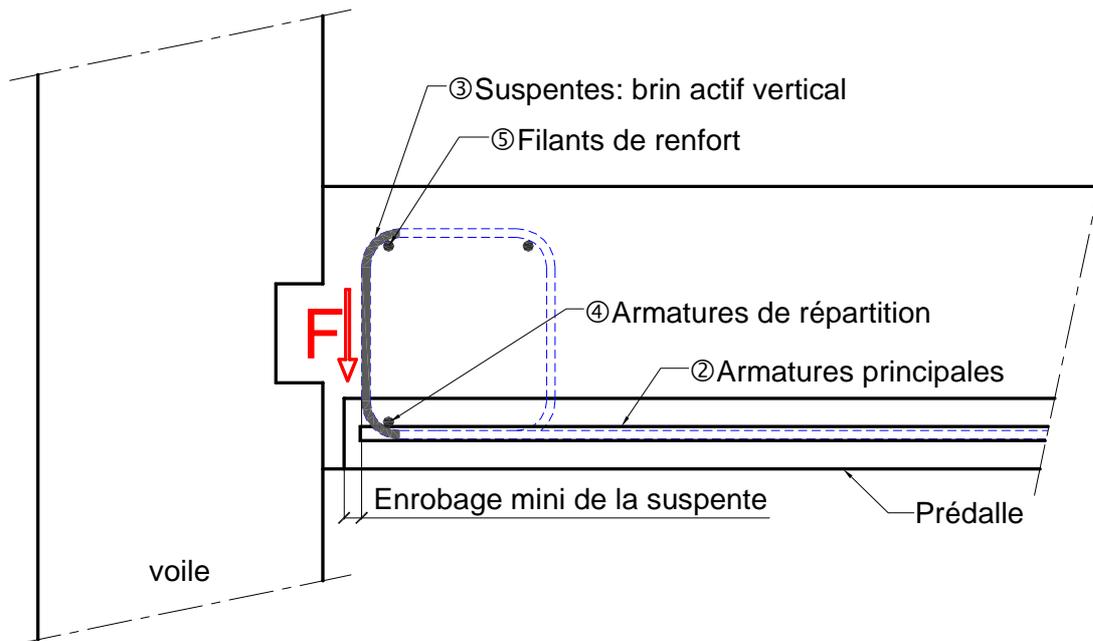


Figure 5 – Principe de recouvrement dans la prédalle (côte en mm)

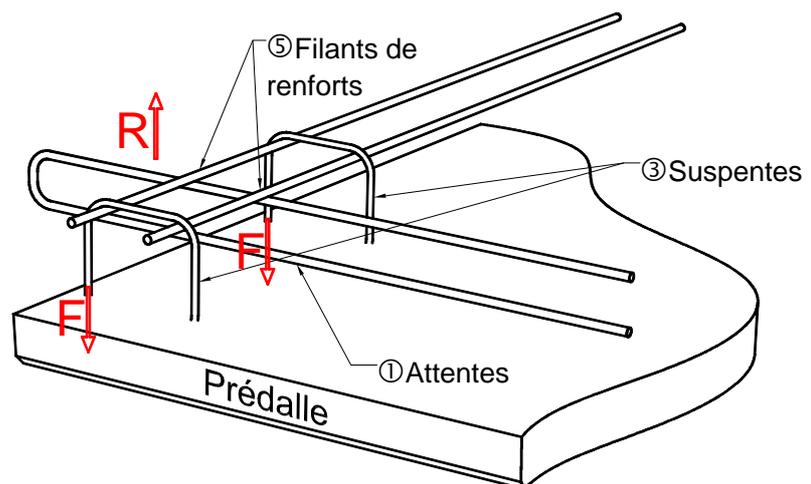


**Figure 6 – Transmission des efforts (attentes du voile non représentées)**

L'armature filante de renfort (armature n° 5) disposée en partie supérieure du plancher assure la transmission des charges en armant la bordure en flexion et torsion (Figures 6 et 7).

*Commentaire : les suspentes n'étant pas disposées systématiquement au droit d'une attente dans le support, il est nécessaire de prévoir des armatures susceptibles d'assurer le report des charges relevées vers les points de liaison.*

Les attentes du support équilibrent les charges suspendues (Figures 7 et 8) créant ainsi des moments négatifs à équilibrer dans l'élément porteur. La disposition des armatures doit être cohérente avec ce schéma d'équilibre.



**Figure 7 – Renforts longitudinaux n° 5**

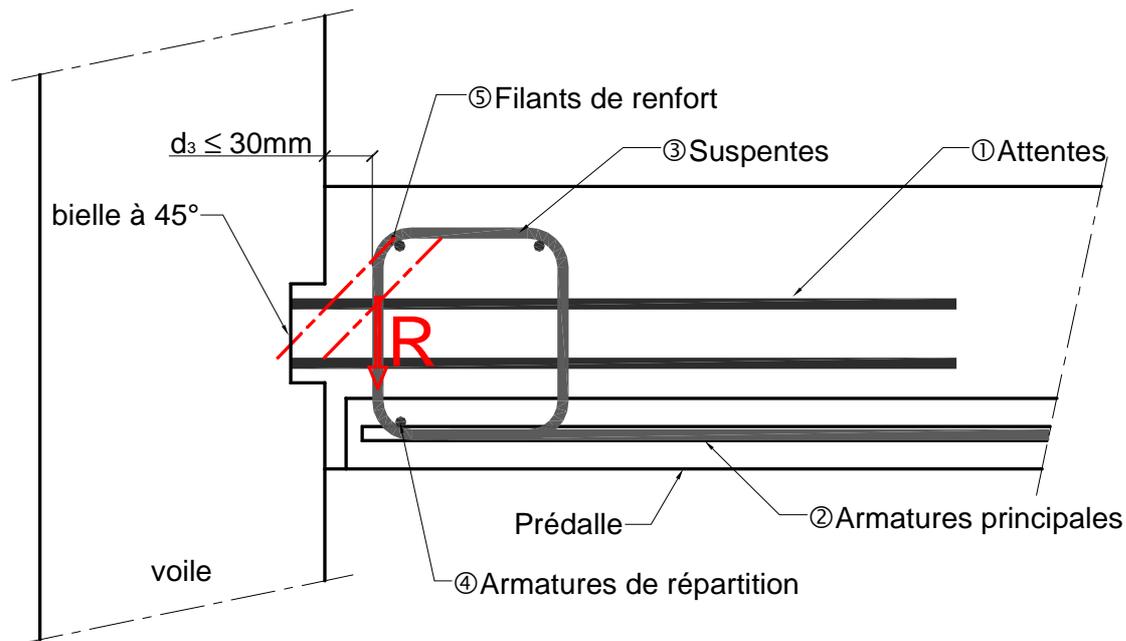


Figure 8 – Bielle

## 4.2 Autres modes de fonctionnement

D'autres modes de fonctionnement sont possibles, par exemple :

- en console courte, intégrée dans l'épaisseur du plancher ;
- par engravures, réparties sur la largeur de la prédalle.

## 4.3 Prise en compte des tolérances

La conception de l'appui doit prendre en compte les tolérances de fabrication des éléments préfabriqués ainsi que les tolérances de mise en œuvre.

*Commentaire : voir la Figure 3 pour les notations utilisées.*

La solution proposée est réputée satisfaisante si les cinq critères suivants sont simultanément vérifiés :

- l'épaisseur de la dalle permet de vérifier l'enrobage minimum  $c_{2min}$  de 10 mm en partie supérieure de la suspente, avec :

$$c_{2min} = h_t - c_1 + h_s + \sqrt{\Delta h_t^2 + \Delta h_s^2 + \Delta c_1^2} \quad (1)$$

*Commentaire : la valeur de 10 mm correspond à une classe d'exposition de type XC1.*

- la distance nominale  $d_{at}$  du brin inférieur de l'attente à la sous-face du plancher permet de respecter un enrobage minimum  $c_{3min}$  de 5 mm par rapport à la face supérieure de la prédalle, avec :

$$d_{at} = h_p + c_{3min} + \sqrt{\Delta h_p^2 + \Delta d_{at}^2} \leq h_p + \frac{h_c}{2} \quad (2)$$

- l'enrobage nominal  $c_4$  du brin supérieur des armatures en attente n'excède pas 80 mm, avec :

$$c_4 = h_t - d_{at} - h_{at} \quad (3)$$

- la distance libre minimale  $x_{min}$  entre le brin horizontal supérieur de la suspente et le brin supérieur des armatures en attente est au moins égal au diamètre des filants de renfort (repère n° 5), avec :

$$x_{min} = c_1 + h_s - \phi - d_{at} - h_{at} - 0,5 \sqrt{\Delta c_1^2 + \Delta h_s^2 + \Delta d_{at}^2 + \Delta h_{at}^2} \quad (4)$$

- la hauteur de la suspente assure la remontée des charges sur la bielle à 45° prenant appui sur l'armature inférieure en attente. Cette condition est supposée satisfaite si  $y_{min} \geq d_3 + 15$  mm, avec :

$$y_{min} = c_1 + h_s - \phi - d_{at} - \sqrt{\Delta c_1^2 + \Delta h_s^2 + \Delta d_{at}^2} \quad (5)$$

*Commentaire : un exemple de calcul est donné en annexe E.*

Des exemples de solutions d'attentes, satisfaisant aux exigences définies dans le présent document, sont données en annexe F.

## 5. Dispositions des armatures

### 5.1 Armatures n° 4 de la prédalle

Afin d'assurer la couture des bielles dans la zone de recouvrement des brins horizontaux inférieurs des suspentes (armatures n° 3) avec les armatures longitudinales de la prédalle (armatures n° 2), il peut être nécessaire de prévoir des armatures (armatures n° 4) en complément des armatures de répartition des prédalles.

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 (Figures 5 et 6).

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

*Commentaire : les armatures de répartition dans la prédalle peuvent être prises en compte dans cette vérification.*

### 5.2 Armatures n° 5

Les armatures n° 5 de renfort sont disposées parallèlement au support dans le béton coulé en œuvre (Figures 3 à 6).

Les armatures n° 1 en attente supérieures du support vertical (voile ou poutre) ne correspondant pas systématiquement à celles des suspentes des prédalles, il est nécessaire de mettre en œuvre des armatures en partie supérieure dont le rôle est d'assurer le report des charges entre les axes de suspentes et les attentes dans le support.

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

*Commentaire :*

- en général, les armatures en attente du support sont réalisées à l'aide de produits manufacturés. Le schéma le plus défavorable est celui dont les attentes sont disposées avec un entraxe de 250 mm. Dans ce cas, la distance maximale possible entre une suspente et une attente est donc  $= 250/2 = 125$  mm (Figure 5).
- le moment maximum créé par la charge amenée par une suspente, en supposant un équilibre en console s'écrit :

$$M = A_s (0,80 f_{yk}) / \gamma_s \times (0,25/2)^2 / 2, \text{ soit pour une attente } \text{Ø} 8 \text{ HA avec } f_{yk} = 500 \text{ MPa :}$$

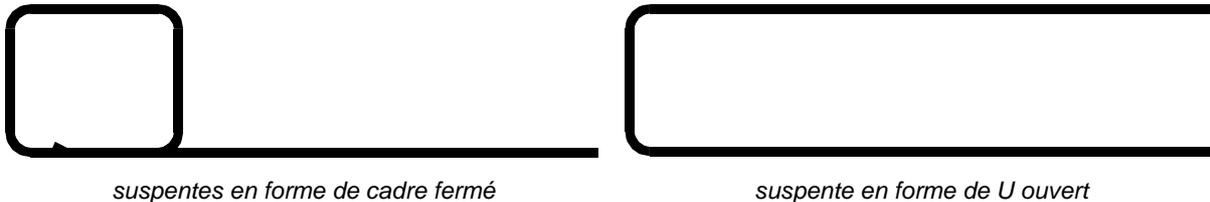
$$M = 50,2 \times (0,80 \times 500) / 1,15 \times (0,25/2)^2 / 2 \times 10^{-3} = 0,136 \text{ kN.m ;}$$

Il suffit de retenir un ferrailage minimal de 2 Ø 8 HA.

### 5.3 Façonnage des suspentes

L'armature de suspente doit être pliable-dépliable (certification AFCAB selon la procédure E4 de décembre 2004). Cette aptitude sera mentionnée sur les plans de préconisation de pose du fournisseur des prédalles.

*Commentaire :* les Documents Particuliers du Marché (DPM) peuvent préciser que les suspentes sont livrées inclinées, en général entre 30° et 60°.



**Figure 9 – Exemples de suspentes**

*Commentaire :* pour les suspentes en forme de U ouvert, les filants de renforts sont glissés latéralement.

Dans les cas des bâtiments courants dont la charge d'exploitation ne dépasse pas  $5 \text{ kN/m}^2$ , le diamètre maximal des suspentes est de 8 mm.

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.

### 5.4 Attentes du support n° 1

L'armature d'attente doit être pliable-dépliable (certification AFCAB selon la procédure E4 de décembre 2004). Cette aptitude sera mentionnée sur les documents du fournisseur des attentes.

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, sont dépliables et leur diamètre varie entre 6 et 12 mm.

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

Une attente est nécessairement constituée de deux brins superposés pour réaliser la liaison du support avec les prédalles suspendues (1 attente à deux brins ou 2 attentes à un brin) :

- un brin inférieur pour assurer l'ancrage de la bielle (clauses 9.2.1.4 et 9.3.1.1 de la norme NF EN 1992-1-1 ;
- un brin supérieur pour reprendre un moment minimal de  $0,15 M_{Tmax}$  (clause 9.3.1.2 de la norme NF EN 1992-1-1).

Compte tenu des dispositions retenues sur les Figures 3 à 6, il y a lieu de prendre comme hauteur utile maximum :

$$d = h_c - c_4 - \frac{\varnothing}{2} \text{ avec } c_4 \leq 80 \text{ mm} \quad (6)$$

où  $\varnothing$  est le diamètre de l'attente.

Une méthode de dimensionnement est donnée en annexe B.

*Commentaire : des exemples d'application sont donnés en annexes C et D.*

Le choix des attentes à mettre en œuvre sur chantier est effectué par le bureau d'études de l'entreprise de gros œuvre en tenant compte des préconisations du bureau d'études du préfabricant.

*Commentaire : lorsque des planchers à prédalles suspendues sont prévus des deux cotés 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 possible. Dans tous les cas, des empochements sont nécessaires pour caler les bielles de béton (encoche rugueuse).*

## **5.5 Liaison des prédalles sur 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  $7 \text{ kN/m}^2$ , 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.

*Commentaire : dans les cas courants (épaisseur de plancher  $\leq 25 \text{ cm}$ ), il sera disposé un minimum de trois attentes HA 6 par mètre dans le support.*

## **6. Dispositions parasismiques**

Les prédalles suspendues peuvent être utilisées sans justification particulière autres que celles décrites précédemment et conformément à la norme NF EN 1998-1 et son annexe nationale française.

Les armatures en attente doivent être de classe B ou C au sens de l'annexe C de la norme NF EN 1992-1-1.

## 7. Principes de mise en œuvre

La chronologie de mise en œuvre est la suivante :

1. vérification des attentes ;
2. mise en place des attentes dans le support :
  - vérifier le positionnement des attentes
  - vérifier l'efficacité du dispositif de maintien
3. coulage du support ;
4. mise en place du dispositif d'étaie du plancher :
  - vérifier le positionnement de la lisse de rive
5. réception des prédalles ;
6. pose des prédalles ;
7. ouverture des attentes ;
8. à l'avancement, le long de la ligne d'appui et dans le sens qui convient :
  - dépliage des attentes n° 1 à l'aide d'un outil spécifique
  - redressage des suspentes n° 3 à l'aide d'un outil spécifique
  - mise en place des filants de renfort n° 5
9. **contrôle du ferrailage** par le responsable chargé de l'exécution, suivant une procédure définie par l'entreprise ;
10. coulage du plancher après validation du contrôle du ferrailage ;
11. désétaie du plancher :
  - à n'effectuer que lorsque la résistance du béton est suffisante, compte tenu des sollicitations de l'ouvrage.

## Bibliographie

[1] CPT PLANCHERS Titre II, *Dalles pleines confectionnées à partir de prédalles préfabriquées et de béton coulé en œuvre*. Cahier du CSTB n° 3221, mai 2000.

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

[3] 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*.

[4] 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.*

[5] 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.*

[6] 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.*

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

# Annexe A – Méthode de dimensionnement des suspentes dans les planchers à prédalles précontraintes

## A.1 – Objectif

Il s'agit de déterminer 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  $x$  pour laquelle les moments appliqué et résistant sont égaux.

## A.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 :

$$F_a(x) = x \frac{F_{pm}}{l_{pt2}} \quad (7)$$

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.

$$l_{pt} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0}}{f_{bpt}} \quad (\text{formule 8.16 de la norme NF EN 1992-1-1})$$

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

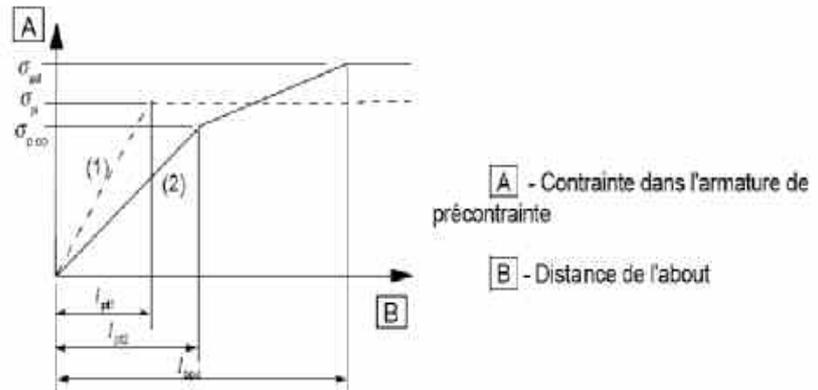
$$F_{p0} = 0,95 F_{p0,1k}$$

Pour l'évaluation de la force de tension finale des armatures, nous retiendrons forfaitairement  $F_{pm} = 0,80 F_{p0}$ .

Les armatures de précontrainte sont supposées de classe 1770 TBR pour les  $\varnothing 5$  et  $\varnothing 7$  et de classe 2060 TBR pour les torons T5,2 et T6,85.

Dans le tableau suivant sont réunis les résultats ainsi obtenus :

Précontrainte	$F_{p0,1k}$	$F_{pk}$	$l_{pt}$	$l_{pt2} = 1,2 l_{pt}$	$F_{pm}$
Ø5	30,5 kN	34,7 kN	536 mm	643 mm	23,2 kN
Ø7	59,9 kN	68,1 kN	753 mm	904 mm	45,5 kN
T5,2	24,9 kN	28,0 kN	422 mm	506 mm	18,9 kN
T6,85	51,7 kN	58,1 kN	556 mm	667 mm	39,3 kN



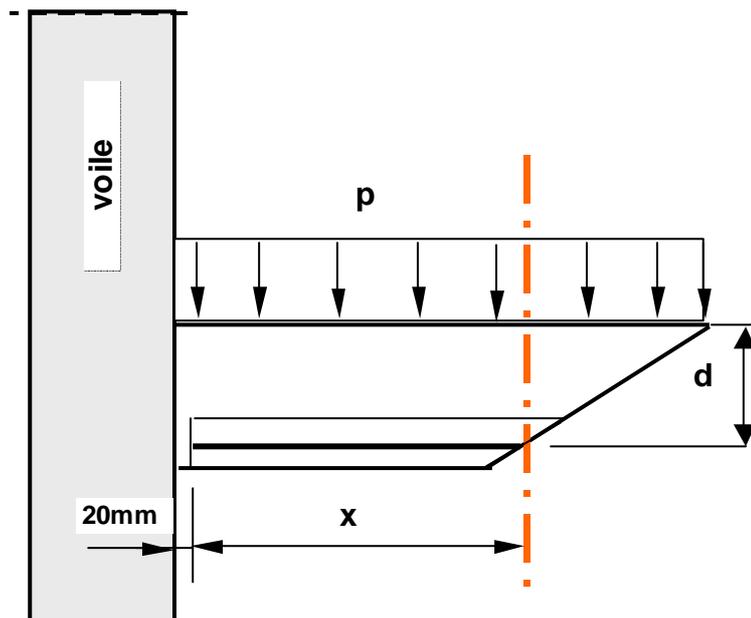
**Figure A.1 – Courbe d'établissement de la précontrainte**  
 (1) : au relâchement des armatures (2) à l'état limite ultime

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 :

$$M_{Rd}(x) = N_f \cdot F_a(x) \cdot (0,9d) \quad (8)$$

### A.3 – Moment appliqué

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**

$$M_{ED}(x) = p \cdot (x+d) \cdot \frac{L-(x+d)}{2} \quad (9)$$

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

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

où  $V_{Ed}$  représente l'effort tranchant à l'état limite ultime dû à toutes les charges appliquées et  $p$  les charges uniformes à l'état limite ultime (permanentes + surcharges).

#### A.4 - Détermination de la longueur de recouvrement des armatures de précontrainte et des armatures de suspente

Soit  $x$  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 (7), une équation du 2<sup>e</sup> degré de la forme :

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

avec :

$$A = -p$$

$$B = 2 V_{Ed} - 1,8 d \cdot N_f \cdot F_{pm}/I_{pl2} - 2 d \cdot p$$

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

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

$$x = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A.C}}{2A}$$

##### *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  $(x + s_t/2)$ .

##### *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  $l_{b,rqd}$ . 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
$l_{b,rqd}$	40 $\emptyset$	36 $\emptyset$	32 $\emptyset$	30 $\emptyset$
$l_{suspente}$	40 $\emptyset + s_t/2$	36 $\emptyset + s_t/2$	32 $\emptyset + s_t/2$	30 $\emptyset + s_t/2$

##### *Conclusion*

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

$$L \text{ (mm)} \geq \text{Max} [(x + s_t/2) ; (40 \emptyset + s_t/2)]$$







# Annexe C – Exemples d'application pour un plancher à prédalles précontraintes

## C.1 – Exemple 1

Soit un plancher de 20 cm d'épaisseur totale, de 5 m de portée composé de prédalles de 5 cm d'épaisseur en béton C30/37, 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.

Les charges appliquées sont les suivantes :

- charges permanentes :  $G = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (hors poids propre) ;
- charges d'exploitation :  $Q = 1,5 \text{ kN/m}^2$ .

### C.1.1 – Détermination de la longueur de recouvrement des suspentes

$$h_t = 200 \text{ mm}$$

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Portée } L = 5.00 \text{ m}$$

$$\text{Précontrainte T5.2} = 9 \text{ torons/m}$$

$$I_{pt2} = 506 \text{ mm}$$

$$F_{pm} = 18924 \text{ N/toron}$$

$$\text{hauteur utile } d = 180 \text{ mm}$$

$$\text{Poids propre dalle} = 4.80 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Charges permanentes (hors poids propre) } G = 1.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Surcharges } Q = 1.50 \text{ kN/m}^2$$

EFFORT TRANCHANT  $V_{Ed}$  :

$$p = 1.35G + 1.5Q = 10.08 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Ed} = p \cdot L/2 = 25.20 \text{ kN/m}^2$$

MOMENT A L'ABSCISSE  $x$  :

moment sollicitant  $M_{Ed}$  =

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

moment résistant  $M_{Rd}$  =

$$M_{Rd} = N_f \cdot F_a(x) \cdot (0,9 \cdot d) = N_f \cdot (0,9 \cdot d) \cdot x \cdot F_{pm} / I_{pt2}$$

En posant  $M_{Ed} = M_{Rd}$ , on obtient une équation du second degré =  $Ax^2 + Bx + C$  ayant pour

solution :

$$x = 138 \text{ mm}$$

Par suite, la valeur minimale de recouvrement des suspentes  $\varnothing 6$  HA avec les armatures de précontrainte est donc égale à :  $L = \text{Max} (138 + 125 ; 36 \times 6 + 125) = 341 \text{ mm}$ .

### C.1.2 – Détermination de la section des suspentes

Reprise de l'effort tranchant :

$$A_s = V_u / (0,8 \times f_{yk} / \gamma_s) = 25\,200 / (0,8 \times 500 / 1,15) = 72,5 \text{ mm}^2$$

Nombre de suspentes de diamètre  $\varnothing 6$  HA =  $72,5 / 28,3 = 2,56$  u/m.

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

### C.1.3 – Détermination des attentes

Vérification de

l'attente inférieure

Effort à reprendre :  $V_{Ed} = 25,2 \text{ kN/m}$

La force équivalente reprise par une attente  $\varnothing 6$  HA est égale à :

$$F_{eq} = (0,8 \times 500 / 1,15) \times (\pi \cdot 6^2 / 4) \times 10^{-3} = 9,83 \text{ kN/u}$$

$$N_b = V_{Ed}/F_{eq} = 25,2/9,83 = 2,56 \text{ u/m soit } E = 391 \text{ mm}$$

Par suite, l'espacement  $E$  sera pris égal à la valeur maximale recommandée de 250 mm.

#### *Vérification de l'attente supérieure*

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimal en rive égal à  $0,15 M_{Tmax}$ . Sauf disposition particulière, on peut prendre la valeur minimum du bras de levier :  $z = 0,9 d$  avec  $d = h_c - c_4 - \emptyset/2$ .

Cette condition donne en considérant un appui simple en rive :

$$0,15 M_{Tmax} = 4,73 \text{ kN.m}$$

$$d = 150 - 69 - 6/2 = 78 \text{ mm}$$

$$A = 4,73 \times 10^6 / [(0,9 \times 78) \times (0,8 \times 500/1,15)] = 194 \text{ mm}^2$$

Soit, en considérant des armatures  $\emptyset 6$  HA, un espacement :

$$194/28,3 = 6,84 \text{ u/m soit } E = 146 \text{ mm}$$

En conclusion, il faut retenir des attentes  $\emptyset 6$  HA ( $f_{yk} = 500$  MPa) avec un espacement maximum de 146 mm.

#### ***C.1.4 - Vérification de la largeur de la bielle :***

La contrainte maximale de compression dans la bielle est égale à :

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} = 0,85 \times (1 - f_{ck}/250) \times f_{ck}/\gamma_c = 12,75 \text{ MPa}$$

avec  $f_{ck} = 25$  MPa

La largeur de la bielle est donnée par la formule :

$$a = V_{Ed} / (\sigma_{Rd,max} \times b \times \sin^2 \theta) = 25200 / (12,75 \times 1000 \times 0,5) = 3,95 \text{ mm}$$

À partir des dispositions constructives retenues, il suffit de vérifier que la cote  $a$  (Figure 4) est supérieure à la valeur calculée ci-dessus.

## **C.2 - Exemple 2**

Soit un plancher de 23 cm d'épaisseur totale, de 6 m de portée composé de prédalles de 8 cm d'épaisseur en béton C30/37, précontraintes avec 9 torons T6,85-2060-TBR par mètre. Le béton coulé en place est de classe C25/30.

Les charges appliquées sont les suivantes :

- charges permanentes :  $G = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (hors poids propre) ;
- charges d'exploitation :  $Q = 5,0 \text{ kN/m}^2$ .

#### ***C.2.1 - Détermination de la longueur de recouvrement des suspentes***

$h_t = 230 \text{ mm}$   
 $h_p = 80 \text{ mm}$

Portée  $L = 6.00 \text{ m}$   
Précontrainte T6.85 = **9 torons/m**

hauteur utile  $d = 210 \text{ mm}$

$I_{pt2} = 667 \text{ mm}^4$   
 $F_{pm} = 39292 \text{ N/toron}$

Poids propre dalle =  $5.52 \text{ kN/m}^2$   
Charges permanentes (hors poids propre)  $G = 1.00 \text{ kN/m}^2$   
Surcharges  $Q = 5.00 \text{ kN/m}^2$

EFFORT TRANCHANT  $V_{Ed}$  :

$$p = 1.35G + 1.5Q = 16.30 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Ed} = p \cdot L/2 = 48.91 \text{ kN/m}^2$$

MOMENT A L'ABSCISSE  $x$  :

moment sollicitant  $M_{Ed} =$

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

moment résistant  $M_{Rd} =$

$$M_{Rd} = N_f \cdot F_a(x) \cdot (0,9 \cdot d) = N_f \cdot (0,9 \cdot d) \cdot x \cdot F_{pm} / I_{pt2}$$

En posant  $M_{Ed} = M_{Rd}$ , on obtient une équation du second degré =  $Ax^2 + Bx + C$  ayant pour

solution :  $x = 177 \text{ mm}$

Par suite, la valeur minimale de recouvrement des suspentes  $\varnothing 6 \text{ HA}$  avec les armatures de précontrainte est donc égale à :  $L = \text{Max} (177 + 125 ; 36 \times 6 + 125) = 341 \text{ mm}$ .

### ***C.2.2 - Détermination de la section des suspentes***

Reprise de l'effort tranchant :

$$A_s = V_u / (0,8 \times f_{yk} / \gamma_s) = 48\,900 / (0,8 \times 500 / 1,15) = 141 \text{ mm}^2$$

Nombre de suspentes de diamètre  $\varnothing 6 \text{ HA} = 141 / 28,3 = 5,00 \text{ u/m}$ .

Il faut retenir 5 suspentes  $\varnothing 6 \text{ HA}$  par mètre.

### ***C.2.3 - Détermination des attentes***

Effort à reprendre :  $V_{Ed} = 48,9 \text{ kN/m}$ .

La force équivalente reprise par une attente  $\varnothing 10 \text{ HA}$  est égale à :

$$F_{eq} = (0,8 \times 500 / 1,15) \times (\pi \times 10^2 / 4) \times 10^{-3} = 27,32 \text{ kN/u}$$

$$N_b = V_{Ed} / F_{eq} = 48,9 / 27,32 = 1,80 \text{ u/m soit } E = 555 \text{ mm}$$

L'espacement  $E$  sera pris égal à la valeur maximale recommandée de 250 mm.

### ***Vérification de l'attente supérieure***

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimal en rive égal à  $0,15 M_{Tmax}$ . Sauf disposition particulière, on peut prendre la valeur minimum du bras de levier :  $z = 0,9 d$  avec  $d = h_c - c_4 - \varnothing/2$ .

Cette condition donne en considérant un appui simple en rive :

$$0,15 M_{Tmax} = 11,0 \text{ kN.m}$$

$$d = 150 - 69 - 6/2 = 78 \text{ mm}$$

$$A = 11,00 \times 10^6 / [(0,9 \times 78) \times (0,8 \times 500 / 1,15)] = 450 \text{ mm}^2$$

Soit, en considérant des armatures  $\varnothing 10 \text{ HA}$ , un espacement :

$$450 / 78,5 = 5,73 \text{ u/m soit } E = 175 \text{ mm}$$

### ***C.2.4 - Vérification de la largeur de la bielle***

La largeur de la bielle est donnée par la formule :

$$a = V_{Ed} / (\sigma_{Rd,max} \times b \times \sin^2 \theta) = 48900 / (12,75 \times 1000 \times 0,5) = 7,67 \text{ mm}$$

À partir des dispositions constructives retenues, il suffit de vérifier que la cote  $a$  (Figure 4) est supérieure à la valeur calculée ci-dessus.



# Annexe D - Exemples d'application pour un plancher à prédalles béton armé

## D.1 - Exemple 1

Soit un plancher de 21 cm d'épaisseur totale, de 5 m de portée composé de prédalles de 5 cm d'épaisseur en béton C30/37, en béton armé d'armatures HA 8 tous les 13 cm. Le béton coulé en place est de classe C25/30 et la hauteur utile est égale à 19 cm.

Les charges appliquées sont les suivantes :

- charges permanentes :  $G = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (hors poids propre) ;
- charges d'exploitation  $Q = 1,5 \text{ kN/m}^2$ .

### D.1.1 - Détermination de la section des suspentes

Reprise de l'effort tranchant :

$$A_s = V_u / (0,8 \times f_{yk} / \gamma_s) = 26\,380 / (0,8 \times 500 / 1,15) = 76 \text{ mm}^2$$

Nombre de suspentes de diamètre  $\varnothing 6 \text{ HA} = 76/28,3 = 2,69 \text{ u/m}$ .

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

### D.1.2 - Détermination des attentes

Effort à reprendre :  $V_{Ed} = 26,38 \text{ kN/m}$ .

*Vérification de l'attente inférieure*

La force équivalente reprise par une attente  $\varnothing 6 \text{ HA}$  est égale à :

$$F_{eq} = (0,8 \times 500 / 1,15) \times (\pi \times 6^2 / 4) \times 10^{-3} = 9,83 \text{ kN/u}$$

$$N_b = V_{Ed} / F_{eq} = 26,38 / 9,83 = 2,68 \text{ u/m soit } E = 373 \text{ mm}$$

Par suite, l'espacement  $E$  sera pris égal à la valeur maximum recommandée de 250 mm.

*Vérification de l'attente supérieure*

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimum en rive égal à  $0,15 M_{Tmax}$ . Sauf disposition particulière, on peut prendre la valeur minimum du bras de levier :  $z = 0,9 d$  avec  $d = h_c - c_4 - \varnothing/2$ .

Cette condition donne en considérant un appui simple en rive :

$$0,15 M_{Tmax} = 4,95 \text{ kN.m}$$

$$d = 160 - 59 - 6/2 = 98 \text{ mm}$$

$$A = 4,95 \times 10^6 / [(0,9 \times 98) \times (0,8 \times 500 / 1,15)] = 161 \text{ mm}^2$$

Soit, en considérant des armatures  $\varnothing 6 \text{ HA}$ , un espacement :

$$161/28,3 = 5,69 \text{ u/m soit } E = 176 \text{ mm}$$

En conclusion, il faut retenir des attentes  $\varnothing 6 \text{ HA}$  ( $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ) avec un espacement maximum de 176 mm.

### D.1.3 - Vérification de la largeur de la bielle :

La contrainte maximale de compression dans la bielle est égale à :

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} = 0,85 \times (1 - f_{ck}/250) \times f_{ck} / \gamma_c = 12,75 \text{ MPa}$$

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

La largeur de la bielle est donnée par la formule :

$$a = V_{Ed} / (\sigma_{Rd,max} \times b \times \sin^2 \theta) = 26380 / (12,75 \times 1000 \times 0,5) = 4,14 \text{ mm}$$

À partir des dispositions constructives retenues, il suffit de vérifier que la cote  $a$  (Figure 4) est supérieure à la valeur calculée ci-dessus.

## D.2 - Exemple 2

Soit un plancher de 25 cm d'épaisseur totale, de 6,50 m de portée composé de prédalles de 6 cm d'épaisseur en béton C30/37, en béton armé d'armatures HA 14 tous les 10,5 cm. Le béton coulé en place est de classe C25/30 et la hauteur utile est égale à 23 cm.

Les charges appliquées sont les suivantes :

- charges permanentes :  $G = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (hors poids propre) ;
- charges d'exploitation  $Q = 5,0 \text{ kN/m}^2$ .

### D.2.1 - Détermination de la section des suspentes

Reprise de l'effort tranchant :

$$A_s = V_u / (0,8 \times f_{yk} / \gamma_s) = 55\,654 / (0,8 \times 500 / 1,15) = 160 \text{ mm}^2$$

Nombre de suspentes de diamètre  $\varnothing 6$  HA =  $160 / 28,3 = 5,65$  u/m.

### D.2.2 - Détermination des attentes

*Vérification de l'attente inférieure*

Effort à reprendre :  $V_{Ed} = 56,65 \text{ kN/m}$ .

La force équivalente reprise par une attente  $\varnothing 8$  HA est égale à :

$$F_{eq} = (0,8 \times 500 / 1,15) \times (\pi \times 8^2 / 4) \times 10^{-3} = 17,48 \text{ kN/u}$$

$$N_b = V_{Ed} / F_{eq} = 56,65 / 17,48 = 3,24 \text{ u/m soit } E = 309 \text{ mm}$$

L'espacement  $E$  sera pris égal à la valeur maximale recommandée de 250 mm.

*Vérification de l'attente supérieure*

L'attente supérieure doit être dimensionnée pour reprendre un moment minimum en rive égal à  $0,15 M_{Tmax}$ . Sauf disposition particulière, on peut prendre la valeur minimum du bras de levier :  $z = 0,9 d$  avec  $d = h_c - c_4 - \varnothing / 2$ .

Cette condition donne en considérant un appui simple en rive :

$$0,15 M_{Tmax} = 13,57 \text{ kN.m}$$

$$d = 190 - 69 - 6/2 = 118 \text{ mm}$$

$$A = 13,57 \times 10^6 / [(0,9 \times 118) \times (0,8 \times 500 / 1,15)] = 365 \text{ mm}^2$$

Soit, en considérant des armatures  $\varnothing 8$  HA, un espacement :

$$365 / 50,2 = 7,3 \text{ u/m soit } E = 137 \text{ mm}$$

En conclusion, il faut retenir des attentes  $\varnothing 8$  HA ( $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ) avec un espacement maximum de 137 mm.

### D.2.3 - Vérification de la largeur de la bielle :

La contrainte maximale de compression dans la bielle est égale à :

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} = 0,85 \times (1 - f_{ck} / 250) \times f_{ck} / \gamma_c = 12,75 \text{ MPa}$$

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

La largeur de la bielle est donnée par la formule :

$$a = V_{Ed} / (\sigma_{Rd,max} \times b \times \sin^2 \theta) = 55654 / (12,75 \times 1000 \times 0,5) = 7,73 \text{ mm}$$

À partir des dispositions constructives retenues, il suffit de vérifier que la cote  $a$  (Figure 4) est supérieure à la valeur calculée ci-dessus.

## Annexe E - Exemple de prise en compte des tolérances

Cet exemple permet de vérifier si les dimensions d'encombrement des suspentes  $h_s$  et des attentes  $h_{at}$  sont compatibles avec les dispositions constructives à respecter en fonction des diverses tolérances.

HYPOTHESES		EXEMPLE
<b>TOLERANCES DE FABRICATION</b>		<b>DONNEES</b>
- Epaisseur de la prédalle $h_p$	$\Delta h_p = \pm 5 \text{ mm}$	$h_p = 50 \text{ mm}$
- Enrobage des suspentes $c_1$ / sous-face	$\Delta c_1 = \pm 5 \text{ mm}$	$c_1 = 20 \text{ mm}$
- Hauteur des suspentes $h_s$	$\Delta h_s = \pm 5 \text{ mm}$	$h_s = 150 \text{ mm}$
<b>TOLERANCES D'EXECUTION</b>		$\phi = 8 \text{ mm}$
- Position $d_{at}$ des attentes / sous-face	$\Delta d_{at} = \pm 15 \text{ mm}$	
- Epaisseur du plancher $h_t$	$\Delta h_t = \pm 5 \text{ mm}$	$h_t = 200 \text{ mm}$
- Hauteur des attentes $h_{at}$	$\Delta h_{at} = \pm 5 \text{ mm}$	$h_{at} = 60 \text{ mm}$
<b>CRITERES ET ENROBAGES MINIMUM et MAXIMUM</b>		$d_3 = 30 \text{ mm}$
- Enrobage MINI des armatures inférieures en attente au dessus de la prédalle	$c_{3min} = 5 \text{ mm}$	<b>Vérfié</b>
- Enrobage MINI des armatures en partie supérieure	$c_{2min} = 10 \text{ mm}$	<b>Vérfié</b>
- Enrobage nominal du brin supérieur de la suspenste	$c_4 \leq 80 \text{ mm}$	<b>Vérfié</b>
- Distance libre " $x_{min}$ " pour passage des filants	$x_{min} = 10 \text{ mm}$	<b>Vérfié</b>
- Embiellage à 45° vérifié suivant la condition :	$y \geq d_3 + 15 \text{ mm}$	<b>Vérfié</b>

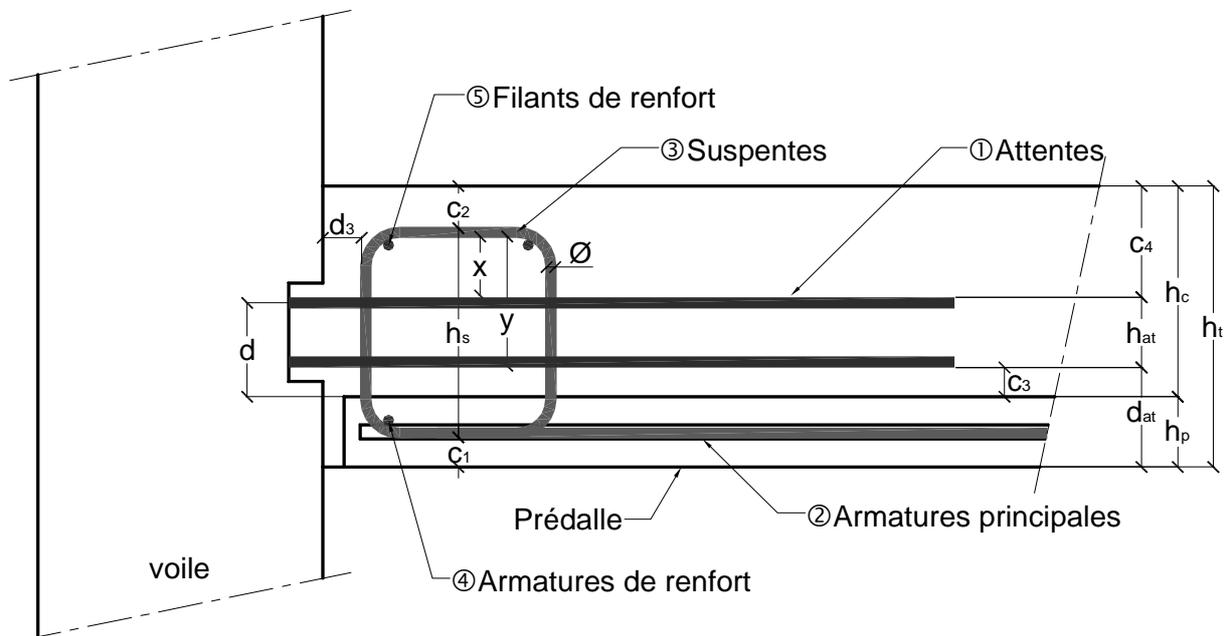


Figure E.1 – Coupe type d'un appui suspendu

Détermination de la position nominale "d<sub>at</sub>" du brin inférieur des attentes ①

$$d_{at} = h_p + c_{3min} + (\Delta h_p^2 + \Delta d_{at}^2)^{1/2} = 70.8 \text{ mm} \quad \text{arrondi à } 71 \text{ mm}$$

*incidence des tolérances = 15.8 mm*

Vérification de l'enrobage nominal "c<sub>4</sub>" du brin supérieur de l'attente

$$c_4 = h_t - d_{at} - h_{at} = 69 \text{ mm} \quad \text{Ok !}$$

Vérification de l'enrobage minimal "c<sub>2</sub>" de la suspente en partie supérieure

$$c_{2min} = h_t - c_1 - h_s - (\Delta h_t^2 + \Delta h_s^2 + \Delta c_1^2)^{1/2} = 21.3 \text{ mm} \quad \text{Ok !}$$

*incidence des tolérances = 8.7 mm*

*l'épaisseur minimale de plancher nécessaire "h<sub>t min</sub>" est égale à:*

$$h_{t \text{ min}} = c_1 + h_s + c_{2min} + (\Delta h_t^2 + \Delta h_s^2 + \Delta c_1^2)^{1/2} = 188.7 \text{ mm} \quad \text{arrondi à } 189 \text{ mm}$$

Vérification de la côte de passage "x" pour les filants de renforts ⑤, condition satisfaite si x >= 10 mm

$$x_{min} = c_1 + h_s - \phi - d_{at} - h_{at} - 0,5 (\Delta c_1^2 + \Delta h_s^2 + \Delta d_{at}^2 + \Delta h_{at}^2)^{1/2} = 24.3 \text{ mm} \quad \text{Ok !}$$

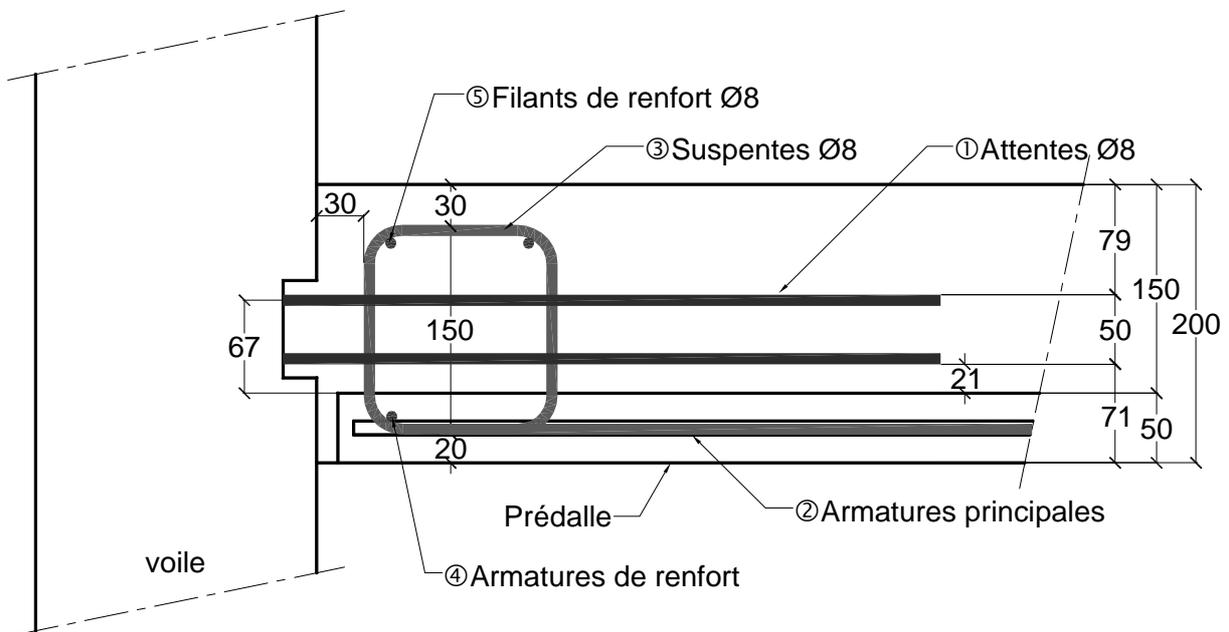
*incidence des tolérances = 17.3 mm*

Vérification de la "suspension" dans la bielle: la condition est satisfaite si y > (d<sub>3</sub> + 15 mm)

$$y_{min} = c_1 + h_s - \phi - d_{at} - (\Delta c_1^2 + \Delta h_s^2 + \Delta d_{at}^2)^{1/2} = 76.4 \text{ mm} \quad \text{Ok !}$$

*incidence des tolérances = 16.6 mm*

**L'épaisseur réelle du plancher de 200 mm convient**



**Figure E.2 – Exemple de compatibilité attentes-suspentes**

valeurs nominales

$$c_2 = h_t - c_1 - h_s = 30.0 \text{ mm}$$

$$c_3 = d_{at} - h_p = 21.0 \text{ mm}$$

$$c_4 = h_t - d_{at} - h_{at} = 69.0 \text{ mm}$$

## Annexe F - Attentes compatibles avec les épaisseurs de planchers et de prédalles courants

Des exemples de solutions d'attentes, satisfaisant aux exigences définies dans le présent document, sont données dans le tableau suivant, avec des diamètres de suspentes inférieurs ou égaux à 8 mm.

*Commentaire : d'autres solutions peuvent être admises moyennant une étude particulière.*

h <sub>t</sub>	h <sub>p</sub>	Supports			
		Voile, poutre allège Δ d <sub>at</sub> = +/- 15 mm		Paroi enterrée comportant une face coffrée Δ d <sub>at</sub> = +/- 20 mm	
		d <sub>at</sub>	h <sub>at</sub>	d <sub>at</sub>	h <sub>at</sub>
170	50	71	45		
	60				
180	50	71	45	76	45
	60	81	45		
190	50	71	60	76	60
	60	81	45	86	45
200	50	71	60	76	60
	60	81	60	86	45
	80	101	45		
210	50	71	80	76	80
	60	81	60	86	60
	80	101	45		
220	50	71	80	76	80
	60	81	80	86	60
	80	101	60	106	60
230	50	71	100	76	100
	60	81	80	86	80
	80	101	60	106	60
240	50	71	100	76	100
	60	81	100	86	80
	80	101	80	106	80
250	50	71	100	76	100
	60	81	100	86	100
	80	101	80	106	80

 Il n'y a pas de solution compatible dans cette configuration.

Δ d<sub>at</sub> : tolérance d'implantation verticale des attentes dans le support